



UNIVERSITAT DE LLEIDA
ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO FINAL DE GRADO

**PROYECTO PARA LA INSTALACIÓN DE SUELO
RADIANTE Y CAPTADORES SOLARES PARA ACS EN
UN PISO**

AUTOR: DAVID AMELLA IGLESIAS

DIRECTORES: MARC MEDRANO MARTORELL Y ALBERT CASTELL CASOL

FECHA DE ENTREGA: LLEIDA, JULIO DE 2016

ÍNDICE

DOCUMENTO Nº 1: MEMORIA TÉCNICA	9
1.0. INTRODUCCIÓN	10
1.0.1. Energías convencionales	10
1.0.2. Energías renovables	11
1.0.3. Comparación entre energías renovables y convencionales.....	14
1.0.4. Energía solar	15
1.0.5. Energía solar térmica.....	16
1.0.6. Instalación solar térmica de baja temperatura	18
1.0.7. Descripción de una instalación solar térmica.....	20
1.0.7.1. Subsistemas de una instalación	20
1.0.7.2. Circulación del fluido.....	22
1.0.8. Elementos de una instalación térmica de baja temperatura.....	23
1.0.8.1. Captador.....	23
1.0.8.2. Acumulador	25
1.0.8.3. Intercambiador de calor.....	26
1.0.8.4. Tuberías.....	26
1.0.8.5. Vaso de expansión.....	27
1.0.8.6. Válvulas	28
1.0.9. Calefacción mediante suelo radiante.....	29
1.1. OBJETO	32
1.2. ALCANCE.....	33
1.3. ANTECEDENTES	34
1.4. NORMAS Y REFERENCIAS	35
1.4.1. Normas aplicadas	35
1.4.2. Bibliografía	35
1.4.3. Software	35
1.4.4. Páginas web.....	35
1.4.5. Otras referencias.....	36
1.4.6. Fuentes.....	36
1.5. REQUISITOS DE DISEÑO	38
1.5.1. Requisitos generales del proyecto	38
1.5.2. Descripción de la vivienda.....	38
1.5.3. Descripción de los cerramientos	39

1.5.4.	Cargas térmicas de la vivienda	41
1.5.5.	Necesidades de ACS de la vivienda	42
1.6.	ANÁLISIS DE SOLUCIONES	43
1.6.1.	Principios básicos	43
1.6.2.	Agua caliente sanitaria	43
1.6.2.1.	Descripción de la instalación	44
1.6.3.	Calefacción	48
1.6.3.1.	Selección de la caldera	48
1.6.3.2.	Diseño de la instalación radiante	49
1.7.	ESTUDIO ECONÓMICO	51
1.7.1.	Presupuesto.....	51
1.7.2.	Periodo de amortización	52
1.7.2.1.	Periodo de amortización de la instalación solar	52
1.7.2.2.	Periodo de amortización de la instalación de suelo radiante	54
1.7.2.3.	Periodo de amortización de toda la instalación.....	55
1.8.	CONCLUSIONES	56
	DOCUMENTO Nº 2: PLANOS	57
	DOCUMENTO Nº 3: PLIEGO DE CONDICIONES	65
3.1.	OBJETO	66
3.2.	DISPOSICIONES GENERALES	66
3.2.1.	Ámbito del presente pliego general de condiciones.....	66
3.2.2.	Documentación del contrato	66
3.2.3.	Forma y dimensiones	67
3.2.4.	Condiciones generales que deben cumplir los materiales y unidades de obra	67
3.2.5.	Documentos de obra.....	67
3.2.6.	Legislación social	67
3.2.7.	Seguridad pública	67
3.3.	DEFINICIONES.....	68
3.3.1.	Propiedad o propietario	68
3.3.2.	Ingeniero – Director	68
3.3.3.	Dirección facultativa.....	68
3.3.5.	Contrata o contratista	69
3.3.6.	Coordinador de seguridad y salud.....	69
3.4.	PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS.....	70
3.4.1.	Derechos y obligaciones de las distintas partes.....	70

3.4.1.1.	Del ingeniero – Director	70
3.4.1.2.	Del director de obra	70
3.4.1.3.	Del constructor.....	71
3.4.1.4.	Del coordinador de seguridad y salud.....	73
3.4.1.5.	De los proveedores	73
3.5.	PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS	74
3.5.1.	Precios y revisión de precios	74
3.5.1.1.	Composición de los precios unitarios.....	74
3.5.1.1.1.	Costes directos	74
3.5.1.1.2.	Costes indirectos	75
3.5.1.1.3.	Precio de ejecución manual	75
3.5.1.1.4.	Precios contradictorios.....	75
3.5.2.	Modos de pago.....	75
3.5.2.1.	Valoración y abono de los trabajos	75
3.5.2.2.	Abono de trabajos especiales no contratados	76
3.5.2.3.	Pago de arbitrios	76
3.5.3.	Garantías, fianzas y avales	76
3.5.4.	Penalizaciones	78
3.5.4.1.	Penalizaciones por baja calidad	78
3.5.4.2.	Desperfectos en la propiedad	78
3.5.4.3.	Replanteos.....	78
3.6.	PLIEGO DE CONDICIONES LEGALES	78
3.6.1.	Responsabilidad y seguridad laboral.....	78
3.6.1.1.	Capacidad para contratar.....	79
3.7.	PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS	81
3.7.1.	Objeto.....	81
3.7.2.	Disposiciones preliminares.....	81
3.7.3.	Requisitos generales	82
3.7.3.1.	Fluido de trabajo	82
3.7.3.2.	Protección contra heladas.....	82
3.7.3.3.	Sobrecalentamientos	83
3.7.3.4.	Resistencia a presión.....	83
3.7.4.	Clasificación de la instalación.....	84
3.7.5.	Criterios generales de diseño	84
3.7.5.1.	Dimensionado y cálculo	84

3.7.5.1.1.	Datos de partida	84
3.7.5.1.2.	Dimensionado básico	85
3.7.5.2.	Diseño del sistema de captación	86
3.7.5.2.1.	Generalidades	86
3.7.5.2.2.	Orientación, inclinación, sombras e integración arquitectónica	87
3.7.5.2.3.	Normativa de mantenimiento	88
3.7.5.3.	Diseño del sistema de acumulación solar	88
3.7.5.3.1.	Generalidades	88
3.7.5.3.2.	Situación de las conexiones	89
3.7.5.3.3.	Sistema auxiliar en el acumulador solar	90
3.7.5.3.4.	Normativa de mantenimiento	91
3.7.5.4.	Diseño del sistema de energía auxiliar	91
3.7.6.	Condiciones de materiales y equipos	92
3.7.6.1.	Generalidades	92
3.7.6.2.	Selección de materiales	92
3.7.6.3.	Procedencia	92
3.7.6.4.	Reconocimiento de los materiales	92
3.7.7.1.	Vigilancia	93
3.7.7.2.	Mantenimiento preventivo	93
3.7.7.3.	Mantenimiento correctivo	93
3.8.	NORMATIVA DE APLICACIÓN Y CONSULTA	94
3.8.1.	Normativa de aplicación	94
3.8.2.	Normativa de consulta	95
DOCUMENTO Nº 4: PRESUPUESTO		97
4.1.	MEDICIONES	98
4.2.	COSTES DIRECTOS	101
4.3.	COSTES INDIRECTOS	102
4.4.	PRECIO DE LA EJECUCIÓN MATERIAL	102
DOCUMENTO Nº 5: ANEXOS		103
ANEXO 1 – DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES DE ACS		104
5.1.	DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES DE ACS	105
5.1.1.	Determinación de la zona climática	105
5.1.2.	Cálculo de las necesidades de ACS	106
ANEXO 2 – DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA		109
5.2.	DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA	110

5.2.1.	Cálculo de la radiación solar incidente.....	110
5.2.2.	Cálculo de las pérdidas en los colectores.....	112
5.2.3.	Selección del colector solar	115
5.2.4.	Cálculo de la fracción solar mensual y anual mediante el método F-Chart.....	120
5.2.5.	Cálculo del caudal de la instalación.....	127
5.2.6.	Selección de la bomba de circulación	127
ANEXO 3 – CÁLCULO DE LAS CARGAS DE CALEFACCIÓN MEDIANTE CYPE Y SELECCIÓN DE LA CALDERA.....		129
5.3.	CÁLCULO DE LAS CARGAS DE CALEFACCIÓN Y SELECCIÓN DE LA CALDERA	130
5.3.1.	Introducción al software CYPECAD MEP	130
5.3.2.	Cálculo de las cargas de calefacción.....	131
5.3.3.	Cálculo de la demanda energética	137
5.3.4.	Selección de la caldera	138
ANEXO 4 – DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE		139
5.4.	DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE	140
5.4.1.	Partes de la regulación	144
5.4.1.1.	Circuito de mezcla	144
5.4.1.2.	Regulación de temperatura ambiente	146
5.4.2.	Circuitos de la instalación.....	146
5.4.3.	Cálculo del caudal de la instalación.....	147
5.4.4.	Cálculo de las pérdidas de carga	148
5.4.5.	Selección de la bomba.....	150

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.- Sistema con circuito abierto. Fuente: [1]	21
Fig. 2.- Sistema con circuito cerrado. Fuente: [1]	21
Fig. 3.- Instalación solar térmica con circulación natural. Fuente: [2]	22
Fig. 4.- Instalación solar térmica con circulación forzada. Fuente: [2]	23
Fig. 5.- Vaso de expansión funcionando en: (a) frío; (b) caliente. Fuente: [3]	28
Fig. 6.- Distribución de temperaturas según la altura para distintos sistemas de calefacción. Fuente: [4]	30
Fig. 7.- Gráficos de fluctuación de la velocidad del aire a la altura de la cabeza según tipo de calefacción. Fuente: [5]	30
Fig. 8.- Transmitancias límite en la zona climática de Tamarite de Litera. Fuente: [6]	39
Fig. 9.- Vista de sección del muro de fachada. Fuente: [7]	40
Fig. 10.- Vista de sección de la cubierta. Fuente: [7]	40
Fig. 11.- Vista de sección del suelo. Fuente: [7]	41
Fig. 12.- Gráfico comparativo entre energía demandada y energía útil. Fuente: propia	46
Fig. 13.- Esquema de una instalación solar térmica. Fuente [8]	47
Fig. 14.- Representación de la caldera Ecomax 24MT de la marca Tifell. Fuente: [9]	49
Fig. 15.- Pérdidas por orientación y sombras. Fuente: [6]	87
Fig. 16.- Ángulo de acimut. Fuente: [6]	110
Fig. 17.- Inclinación máxima y mínima de los colectores para cumplir la normativa. Fuente: [6 - propia]	114
Fig. 18.- Gráfico comparativo entre rendimientos de los colectores	119
Fig. 19.- Gráfico comparativo entre los ratios de los colectores	119
Fig. 20.- Primer paso al iniciar CYPECAD MEP. Fuente propia	131
Fig. 21.- Introducción de los datos generales de la obra. Fuente propia	131
Fig. 22.- Plano en AutoCAD introducido en el programa CYPE. Fuente propia	132
Fig. 23.- Selección de un muro de fachada ya definido a partir del generador de precio. Fuente propia	133
Fig. 24.- Edición del cerramiento vertical exterior. Fuente propia	134
Fig. 25.- Datos proporcionados por el programa de uno de los cerramientos (en este caso, un forjado entre pisos). Fuente propia	134
Fig. 26.- Vista en 3D del edificio una vez definida su forma y sus cerramientos. Fuente propia	135
Fig. 27.- Pantalla que permitirá definir los recintos de la vivienda. Fuente propia	135
Fig. 28.- Edición del acabado del suelo de una habitación. Fuente propia	136
Fig. 29.- Extracto de los resultados para la vivienda estudiada. Fuente propia	137
Fig. 30.- Esquema de una válvula mezcladora termostática. Fuente: [10]	145
Fig. 31.- Esquema de la instalación con circuito de mezcla a temperatura fija. Fuente: [10] ..	145
Fig. 32.- Pérdidas de carga para un tubo de cobre de 22 mm de diámetro. Fuente: [11]	148
Fig. 33.- Ábaco para el cálculo de las pérdidas de carga de los circuitos para una tubería de 16 mm. Fuente: [12]	149
Fig. 34.- Selección de la bomba a través del gráfico de la compañía	151
Fig. 35.- Imagen de la bomba seleccionada	151
Fig. 36.- Esquema de la instalación, con la bomba a la salida de la caldera y con un sistema de control.	152

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Ventajas de las energías renovables frente a las convencionales	15
Tabla 2.- Ventajas del sistema de calefacción radiante frente al convencional	31
Tabla 3.- Distribución de las superficies de la vivienda.....	39
Tabla 4.- Cargas de calefacción de la vivienda	42
Tabla 5.- Demanda energética mensual y anual de ACS.....	42
Tabla 6.- Características del fluido calo portante de la instalación	45
Tabla 7.- Características del captador seleccionado	46
Tabla 8.- Longitud de los tubos para cada circuito.	50
Tabla 9.- Caudal para cada uno de los circuitos de la instalación.....	50
Tabla 10.- Precio de ejecución material de la instalación	51
Tabla 11.- Resumen de las facturas del último año	52
Tabla 12.- Determinación de la energía para ACS cubierta	53
Tabla 13.- Demanda energética de calefacción	54
Tabla 14.- Cálculo del precio a pagar en gas natural	55
Tabla 15.- Zonas climáticas según su situación en España. Fuente: [6].....	105
Tabla 16.- Zona climática de Tamarite de Litera. Fuente: [6]	106
Tabla 17.- Contribución solar mínima para ACS en función de la demanda (en %). Fuente [6].....	106
Tabla 18.- Demanda de ACS diaria según el tipo de uso del edificio. Fuente [6].....	107
Tabla 19.- Número de personas por vivienda según el número de dormitorios de esta. Fuente: [6]	107
Tabla 20.- Temperatura del agua de red para la localidad de Tamarite (datos de CYPE).....	107
Tabla 21.- Demanda energética mensual y anual de ACS para la vivienda.....	108
Tabla 22.- Horas útiles de sol al mes en Tamarite de Litera	111
Tabla 23.- Radiación solar horizontal en Tamarite de Litera	111
Tabla 24.- Radiación solar global. Fuente: [6]	111
Tabla 25.- Irradiación solar en Tamarite de Litera	112
Tabla 26.- Límites de pérdidas para el captador solar. Fuente: [6].....	113
Tabla 27.- Cálculo de la variable T^*m utilizada para determinar el rendimiento del colector.	116
Tabla 28.- Área, coste y ecuación de rendimiento de los diversos colectores escogidos.....	117
Tabla 29.- Rendimientos y ratios de los diversos colectores estudiados.....	118
Tabla 30.- Demanda energética mensual y anual de ACS para la vivienda.....	121
Tabla 31.- Radiación solar inclinada	122
Tabla 32.- Resumen del cálculo de la variable adimensional D_1	123
Tabla 33.- Resumen del cálculo de la variable adimensional D_2	125
Tabla 34.- Fracción de carga calorífica mensual	125
Tabla 35.- Calor útil mensual.....	126
Tabla 36.- Especificaciones de la caldera instalada.....	138
Tabla 37.- Características de las tuberías para suelo radiante de la compañía "Wirsbo"	140
Tabla 38.- Condiciones de servicio de los tubos de la marca "PIPEX"	141
Tabla 39.- Longitud en metros de los circuitos de la instalación	147
Tabla 40.- Caudales de los diversos circuitos de la instalación.....	148
Tabla 41.- Pérdidas de carga de los circuitos	150
Tabla 42.- Datos técnicos de la bomba "Wilo-Stratos PICO"	152



UNIVERSITAT DE LLEIDA
ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO FINAL DE GRADO

**PROYECTO PARA LA INSTALACIÓN DE
CAPTADORES SOLARES Y SUELO RADIANTE EN UN
PISO**

DOCUMENTO Nº 1: MEMORIA TÉCNICA

1.0. INTRODUCCIÓN

1.0.1. Energías convencionales

La energía se puede definir como la capacidad que tiene un sistema para realizar trabajo. Es necesaria para llevar a cabo cualquier proceso que implique un cambio.

En función de sus características, las fuentes de energía se pueden agrupar en dos grandes grupos: energías convencionales y energías renovables.

Las energías convencionales son las que provienen de recursos energéticos almacenados en el planeta y que no se regeneran (o lo hacen a velocidades lentas sin capacidad de recuperación).

Este tipo de energías suponen un 80% del total de la energía utilizada en el planeta y, sobre ellas, se ha construido el actual modelo energético.

Este tipo de energías pueden ser agrupadas en dos grandes grupos:

- Combustibles fósiles

Recursos generados en el pasado a través de procesos geobiológicos y como consecuencia limitados. Representan el 75% de las energías de carácter no renovable.

Este tipo de energías se puede dividir en (por orden cronológico de aparición):

- Carbón
- Petróleo
- Gas natural

- Energía nuclear

Producida en las centrales nucleares a partir del Uranio, mineral radiactivo limitado y escaso, es la fuente no renovable que genera un mayor rechazo social a pesar de que su consumo es uno de los menos representativos, sólo un 5% de las fuentes no renovables.

1.0.2. Energías renovables

Las energías renovables son los tipos de energía inagotables desde el punto de referencia del periodo de existencia de la humanidad, tengan o no su origen en el Sol. Estrictamente dicho, es renovable cualquier proceso que no altere el equilibrio térmico del planeta, que no genere residuos irrecuperables y que su velocidad de consumo no sea superior a la velocidad de regeneración de su fuente energética.

Las fuentes de energía renovables son la radiación solar, la atracción gravitacional de la luna y el Sol y el calor interno de la tierra.

Durante los últimos años, el incremento en el coste de los combustibles fósiles ha hecho que la utilización de este tipo de energía esté en auge. De esta forma, los sistemas que se nutren de esta energía cada vez están más desarrollados.

Se consideran energías renovables la energía solar, la eólica, la geotérmica y la hidráulica. También puede incluirse en este grupo la biomasa y la energía mareomotriz.

Energía eólica:

Es la energía obtenida a partir del viento.

Para lograr esto, se utilizan unos aparatos enormes denominados aerogeneradores, que cuentan con unas grandes palas encargadas de captar el viento y transformarlo en energía mecánica y un generador que convierte esta energía en electricidad.

En ocasiones, si el viento es excesivamente fuerte, parte de esta energía debe utilizarse para evitar dañar el aerogenerador, por lo que la gran mayoría de estos disponen de un control de potencia.

- Inconvenientes de la energía eólica:
 - Impacto visual alto.
 - Impacto sobre la fauna y la flora.
 - Altas emisiones de ruido cuando las palas están en movimiento.

Energía geotérmica:

Es la energía almacenada en el interior de la tierra en forma de calor y es habitual que esté ligada a volcanes, aguas termales, fumarolas o géiseres.

El calor se alimenta, por un lado, de la desintegración de isótopos radiactivos y, por otro, de movimientos diferenciales entre las distintas capas que constituyen la Tierra y del calor latente de la cristalización del núcleo externo.

El uso de este tipo de energía se clasifica según la temperatura del fluido geotermal:

- Alta temperatura ($>150^{\circ}\text{C}$): su utilización principal es en la producción de energía eléctrica en centrales.
- Media temperatura ($50^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$): sus principales aplicaciones son térmicas en los sectores industrial, servicios y residencial.
- Baja temperatura ($<50^{\circ}\text{C}$): puede hacerse un aprovechamiento directo a través de bomba de calor geotérmica (calefacción y refrigeración). Cuando se trata de recursos de temperaturas muy bajas (por debajo de los 25°C) las posibilidades de uso se reducen a la climatización y obtención de agua caliente.

Hasta ahora, la utilización de esta energía en el mundo ha estado limitada a áreas en las cuales las condiciones geológicas eran muy favorables. Pero los avances tecnológicos actuales en equipos y las mejoras en la prospección y perforación, permiten a la geotermia, a día de hoy, disponer de tecnología para la producción de electricidad a partir de recursos geotérmicos de temperaturas notablemente inferiores a las que se precisaban años atrás y para la generación artificial de “yacimientos estimulados” (EGS), en los que es precisa la intervención directa del hombre para la creación del yacimiento, lo que añade un gran potencial de futuro para la geotermia de alta temperatura.

- Inconvenientes de la energía geotérmica:
 - Necesario un costoso estudio previo del terreno.
 - Proceso de perforado de la tierra muy caro.

Energía hidráulica:

La energía hidráulica se basa en aprovechar la caída del agua desde cierta altura. La energía potencial del agua, durante la caída, se convierte en cinética. El agua pasa por las turbinas a gran velocidad, provocando un movimiento de rotación que convierte la energía en energía mecánica que finalmente, se transforma en energía eléctrica por medio de un alternador.

- Inconvenientes de la energía hidráulica:
 - Impacto visual debido a la construcción de grandes infraestructuras.
 - La construcción de infraestructuras provoca la pérdida de tierras fértiles.
 - Alteración de los caudales y, por lo tanto, daños en la fauna y la flora.

Energía solar:

Es aquella obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol.

El aprovechamiento de la energía solar se puede realizar de dos formas: por conversión térmica de alta temperatura (sistema fototérmico) y por conversión fotovoltaica (sistema fotovoltaico).

La conversión térmica de alta temperatura consiste en transformar la energía solar en energía térmica almacenada en un fluido. Para calentar el líquido se emplean unos dispositivos llamados colectores.

La conversión fotovoltaica consiste en la transformación directa de la energía luminosa en energía eléctrica. Se utilizan para ello unas placas solares formadas por células fotovoltaicas (de silicio o de germanio).

- Inconvenientes de la energía solar:
 - Fuente de energía intermitente, ya que depende de la cantidad de radiación recibida.
 - Impacto visual negativo debido a los paneles solares.

Biomasa:

Se considera como biomasa el aprovechamiento térmico o eléctrico del conjunto de materia orgánica de origen vegetal o animal.

La energía producida por la biomasa suele conseguirse mediante su quema directa o a través de su procesamiento para convertirlo en otro tipo de combustible.

Los usos principales de la biomasa son en la producción de energía térmica, en la producción de gas y en la producción de electricidad.

- Inconvenientes de la biomasa:
 - Su incineración puede resultar peligrosa y producir sustancias tóxicas. Por ello se deben utilizar filtros y realizar la combustión a temperaturas mayores a los 900°C.
 - No existen demasiados lugares idóneos para su aprovechamiento ventajoso.

Energía mareomotriz:

Es aquella que aprovecha la fuerza de las mareas para producir energía eléctrica.

La energía producida por las mareas es aprovechada por turbinas, las cuales a su vez mueven la mecánica de un alternador que genera energía eléctrica, finalmente este último está conectado con una central en tierra que distribuye la energía hacia la comunidad y las industrias.

- Inconvenientes de la energía mareomotriz:
 - Gran inversión inicial.
 - Alto impacto visual en el mar.
 - Solo es viable en zonas muy concretas del planeta.

1.0.3. Comparación entre energías renovables y convencionales

Las energías renovables destacan por tener muchas ventajas respecto a las energías convencionales. Y no solamente tienen ventajas en el plano medioambiental, sino que también aportan ventajas en planos socioeconómicos y estratégicos. En la siguiente tabla se puede apreciar una comparación entre ambos tipos de energía:

	Energías renovables	Energías convencionales
Ventajas medioambientales	Proceden de fuentes inagotables.	Proviene de fuentes agotables.
	Los residuos generados no son de difícil tratamiento.	Producen residuos de difícil tratamiento.
	No producen emisiones de gases contaminantes.	Las energías producidas a partir de combustibles fósiles producen gases contaminantes.
Ventajas socioeconómicas	Han permitido que cada país desarrolle tecnologías propias.	En la mayoría de los casos, la tecnología utilizada es importada.
Ventajas estratégicas	Suelen ser autóctonas.	Suelen ser importadas.

Tabla 1.- Ventajas de las energías renovables frente a las convencionales

1.0.4. Energía solar

La energía solar es aquella que se obtiene directamente del Sol. La radiación incidente sobre la tierra puede aprovecharse mediante su capacidad para calentar o mediante dispositivos ópticos o similares.

Cuando se habla de energía solar, son dos los grupos en los que esta se clasifica, la energía solar indirecta y la energía solar directa:

- Energía solar indirecta:

La energía solar indirecta engloba varias de las energías renovables anteriormente comentadas. El Sol, con esta energía, produce un efecto sobre la atmósfera que favorece la aparición de viento y lluvias, que generará energía eólica e hidráulica. Ejerce un efecto sobre la hidrosfera provocando corrientes oceánicas que ayudarán en la generación de energía mareomotriz y finalmente genera un efecto sobre la biosfera favoreciendo la aparición de biomasa.

- Energía solar directa:

La energía solar directa es aquella que se aprovecha directamente mediante la utilización de captadores solares en el caso de querer utilizar la energía como ayuda térmica o de células fotovoltaicas en el caso de querer obtener electricidad. A su vez, si se trata de un aprovechamiento térmico (energía solar térmica), también se puede distinguir entre energía solar activa o pasiva.

1.0.5. Energía solar térmica

Las instalaciones solares térmicas aprovechan parte de la energía procedente de la radiación solar para aumentar la temperatura de sus colectores, que se colocan estratégicamente aprovechando el mayor porcentaje posible de esta radiación. Posteriormente, esta energía es transferida al líquido portador, que en la mayoría de los casos es agua o agua con anticongelante.

El funcionamiento básico de este sistema consiste en el calentamiento de un fluido mediante el aprovechamiento de los rayos solares que inciden sobre una superficie por la que pasa dicho fluido.

La tecnología solar térmica se ha desarrollado mucho en las últimas décadas. La clasificación de los distintos sistemas térmicos se realiza en función de la temperatura a la que se eleva el fluido caloportador. Existen sistemas de baja temperatura, media temperatura y alta temperatura (estos dos últimos denominados termoeléctricos).

- Baja temperatura: Son aquellas instalaciones que, normalmente, proporcionan calor a temperaturas inferiores a los 80°C. Hay dos tipos de captadores de baja temperatura:
 - Colector solar plano: consiste en una caja plana metálica con una superficie que absorbe la energía procedente del Sol y calienta con ella un fluido que pasar por debajo de toda la placa. Este tipo de colectores pueden llevar o no una capa protectora, normalmente un vidrio, que limita las pérdidas de calor.

- Panel de tubos de vacío: suele constar de una doble cubierta cerrada herméticamente en la que se ha hecho el vacío, logrando así minimizar las pérdidas de energía por convección. De esta forma puede alcanzar temperaturas de hasta 120°C. Existen dos sistemas de este tipo de instalación:
 - Flujo directo: su funcionamiento es exactamente igual que los colectores solares planos.
 - Flujo indirecto: se utiliza un fluido que se evapora al calentarse, ascendiendo hasta un intercambiador ubicado en el extremo superior del tubo. Una vez allí, se enfría y vuelve a condensarse, transfiriendo el calor al fluido principal.
- Media temperatura: son aquellos que trabajan a temperaturas comprendidas entre los 100°C y los 250°C, por lo que es posible la producción de vapor. Para alcanzar estas temperaturas es preciso utilizar técnicas de concentración de la radiación solar, habitualmente mediante la reflexión con espejos.
- Alta temperatura: son aquellos que alcanzan las temperaturas más altas. En ocasiones, pueden llegar hasta los 2000°C. Su principal aplicación es la producción de electricidad. Uno de los sistemas de concentración más empleados son los espejos parabólicos, que se dividen en dos tipos:
 - Lineales de disposición cilíndrica: con forma cilíndrica, el fluido se calienta al recorrer la línea situada en el foco de la parábola.
 - Puntuales de disposición esférica: con forma de plato y funcionamiento similar a los de disposición cilíndrica, se utilizan en lugares de espacio limitado.

1.0.6. Instalación solar térmica de baja temperatura

La energía procedente del Sol es un medio muy útil para mejorar la eficiencia energética de una vivienda. En los últimos años, las administraciones públicas han promocionado este tipo de aplicaciones térmicas de energía solar con el aumento de las ayudas y con la obligatoriedad de instalarlas en los edificios de nueva construcción, según especifica el CTE en su DB-HE4. Esto ha hecho que incrementen las instalaciones de este tipo y que cada vez sean más competitivas en un mercado donde las energías convencionales siguen siendo las que mandan.

La energía solar térmica consiste en el aprovechamiento directo de la radiación solar incidente como energía calorífica.

Son varias las aplicaciones que puede tener este tipo de energía. Las más destacadas son las siguientes (todas pertenecientes a sistemas de baja temperatura):

- Producción de ACS: Es la aplicación más común de la energía solar térmica y, a su vez, la más rentable. Normalmente, las instalaciones no se dimensionan para cubrir el 100% de la demanda de agua caliente, ya que la superficie exigida para cubrir estas necesidades en invierno sería enorme y de un muy elevado coste. Lo más común, por tanto, es combinar la instalación solar con otro sistema generador de energía de forma que el dispositivo solar cubra una parte del consumo de energía y el resto sea proporcionado por el sistema convencional.
- Calefacción: El aprovechamiento de la radiación solar para la calefacción se puede realizar mediante captadores de aire o agua (los captadores de aire no están tan desarrollados). De todas formas, la calefacción de una vivienda con energía solar presenta unas peculiaridades que hacen que, aun siendo técnicamente posible, se requiera de un análisis más complejo que la aplicación para producir agua caliente sanitaria.

Una de las razones por las que es un sistema complejo es la estacionalidad de la demanda (en verano la demanda de calefacción es nula), por lo que los captadores no van a poder trabajar durante esa temporada.

El equipo solar se dimensiona siempre teniendo en cuenta unas necesidades energéticas medianas, es decir, las puntas de demanda se deberán cubrir con un sistema de soporte convencional.

Los captadores solares trabajan a una temperatura que puede rondar los 65°C, por lo que no sería posible utilizar sistemas convencionales de calefacción como radiadores por convección. Un buen sistema sería el suelo radiante.

- Producción de frío: Con la utilización de una máquina de absorción es posible generar frío a partir de la radiación solar. El funcionamiento es el siguiente; por un lado de la máquina, la energía solar consigue que uno de los fluidos líquidos se evapore mientras que, por el otro lado, el fluido vuelve a ser líquido otra vez. Es un sistema bastante complejo, ya que se necesitan temperaturas superiores que no pueden alcanzarse con los captadores solares convencionales. Una buena opción podrían ser los captadores de tubos de vacío, cuya temperatura es superior.
- Climatización de piscinas: es la única opción que permite el calentamiento de piscinas al aire libre (está prohibido el calentamiento de piscinas abiertas con energías convencionales). Es un método muy eficaz ya que Con captadores sencillos se puede conseguir aumentar la temperatura del agua hasta los 23-28°C.

Este proyecto consiste en el dimensionado de un sistema combinado que cuente con una instalación solar y una caldera de apoyo para el suministro de ACS y calefacción mediante suelo radiante.

Para la instalación solar, se decide utilizar un sistema de baja temperatura y de colector plano con cubierta de vidrio. Este sistema es el más apropiado para estos casos, ya que la temperatura idónea para el suministro de ACS ronda los 55°C - 60°C, por lo que es relativamente sencillo alcanzarlo con este tipo de instalación ya que se pueden conseguir temperaturas en el fluido de hasta 80°C como se ha comentado en líneas anteriores.

1.0.7. Descripción de una instalación solar térmica

1.0.7.1. Subsistemas de una instalación

Este tipo de instalaciones tienen diversos elementos que se dividen en varios subsistemas según sea su función:

- Subsistema de captación: formado por el captador, es el encargado de captar la radiación y transmitir el calor a las tuberías.
- Subsistema de acumulación: su finalidad es proporcionar energía cuando sea necesario. Para ello cuenta con un depósito acumulador de agua caliente.
- Subsistema de intercambio: únicamente si el circuito es cerrado, realiza la transferencia de calor entre el fluido caloportador que circula por la instalación solar y el depósito acumulador.
- Subsistema de distribución: tiene como función distribuir el agua caliente al punto de la vivienda que sea necesario.
- Subsistema de apoyo: se encarga de ayudar a la instalación en momentos en los que la irradiación solar sea escasa o la demanda de energía sea superior a la capacidad productiva de la instalación.
- Subsistema de control: se encarga de verificar el correcto funcionamiento de toda la instalación.

Se ha comentado la posible existencia de un subsistema de intercambio. Esto depende de si el circuito es abierto o cerrado:

- Circuito abierto: el agua de consumo pasa directamente por los colectores. Este sistema reduce costos y es más eficiente (energéticamente hablando),

pero presenta problemas en zonas con temperaturas por debajo del punto de congelación del agua, así como en zonas con alta concentración de sales que acaban obstruyendo los paneles (ver Fig. 1).

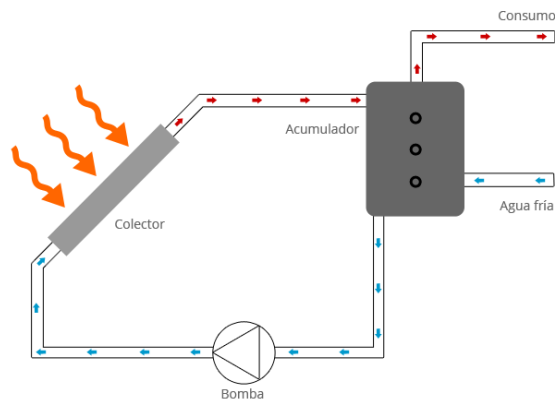


Fig. 1.- Sistema con circuito abierto. Fuente: [1]

- Circuito cerrado: el agua de consumo no pasa directamente por los colectores solares. Este sistema es el más común. Se utiliza un líquido anticongelante que recorre los tubos dentro de los colectores y se calienta por la acción de la radiación solar. El líquido caliente atraviesa el circuito hidráulico primario hasta llegar al intercambiador, en el interior del cual se produce un intercambio de calor entre el circuito primario y el secundario, es decir, entre el líquido anticongelante calentado en las placas solares y el agua de consumo (ver Fig. 2).

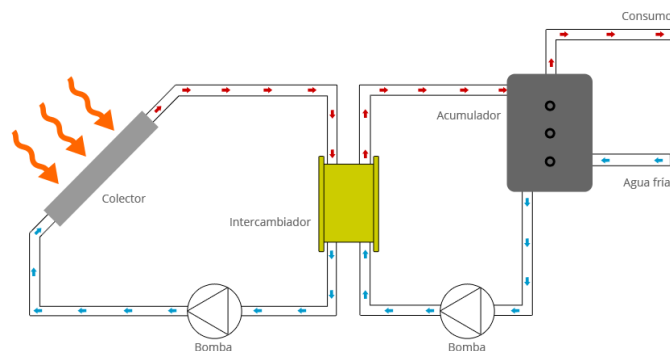


Fig. 2.- Sistema con circuito cerrado. Fuente: [1]

1.0.7.2. Circulación del fluido

En los dos circuitos descritos con anterioridad el fluido circula a través de las tuberías. Esta circulación a través del colector se puede realizar de diversas formas:

- Circulación natural: también es conocido como termosifón. El líquido circula dependiendo de la diferencia de temperaturas, ya que el líquido caliente se encontrará en las tuberías superiores y el líquido frío en las inferiores. Esto es debido a que la densidad del líquido disminuye con la temperatura, por lo que el líquido frío, con mayor densidad, se desplazará a la parte baja de la instalación. De esta forma se consigue que el líquido circule de una manera natural a través del circuito o de los circuitos (ver fig. 3).

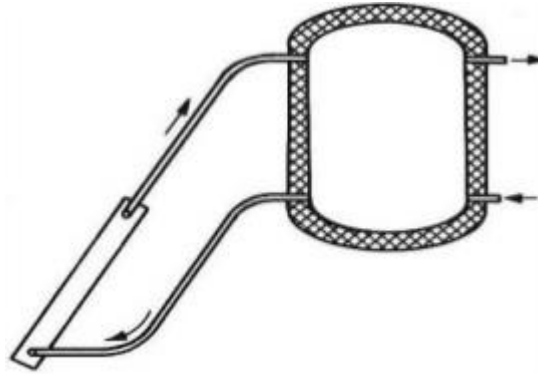


Fig. 3.- Instalación solar térmica con circulación natural. Fuente: [2]

El único requisito para que este sistema funcione correctamente es que el acumulador debe situarse por encima de los colectores para obligar al agua caliente a ascender a través de la tubería.

La ventaja de este tipo de circulación es que se simplifica en gran medida la instalación, ya que no es necesario la utilización de bombas. Sin embargo, los caudales que se mueven en pequeñas cantidades por lo que el rendimiento del sistema disminuye.

- Circulación forzada: se emplean bombas de circulación para que el fluido se mueva a través de las tuberías. Esto permite que el depósito de acumulación pueda encontrarse en un lugar inferior al del colector (ver Fig. 4).

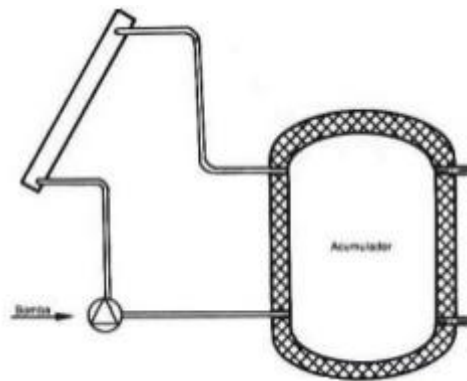


Fig. 4.- Instalación solar térmica con circulación forzada. Fuente: [2]

La ventaja de utilizar este sistema es que el rendimiento de la instalación aumenta. La parte negativa es que se necesita un apoyo eléctrico para las bombas y un sistema de control del caudal.

1.0.8. Elementos de una instalación térmica de baja temperatura

1.0.8.1. Captador

Es la parte más importante de la instalación, ya que es el encargado de absorber la radiación que llega desde el sol y convertirla en energía calorífica.

El captador solar cuenta con una primera capa de vidrio, la cubierta. Esta cumple una doble misión. La primera es rebajar las pérdidas de calor del convertidor minimizando la radiación que éste emite. La segunda, evitar que el aire exterior esté en contacto con el convertidor y se produzcan pérdidas por convección. La atenuación de las pérdidas de calor por radiación desde la superficie del absorbedor puede lograrse aprovechando el “efecto invernadero”. Este efecto se consigue al crearse dos ambientes: uno interior, cerrado por la superficie transparente de vidrio (también puede utilizarse el plástico) y otro exterior. La radiación solar que llega del exterior se transmite a través de la superficie transparente y se propaga hasta el recinto interior, donde es interceptada en la superficie del convertidor. Al chocar la radiación se transforma en calor y la placa eleva su temperatura. Al aumentar su temperatura la placa absorbente emite radiación en una longitud de onda mayor, con menor energía, y esta radiación interior no se transmite al exterior a través de la cubierta transparente. En consecuencia queda atrapada entre la placa y la cubierta, efecto pretendido que facilita la transmisión de la

radiación solar pero no permite la transmisión de la radiación de origen térmico desde la placa hacia el exterior.

Debajo de la cubierta se encuentra el convertidor. El convertidor está constituido por una placa absorbidora plana en la que se encuentran las diversas tuberías metálicas (normalmente de cobre) por las que circula el fluido térmico. El funcionamiento es sencillo. La radiación solar se convierte en calor al atravesar la cubierta y chocar contra la placa y se transfiere a las tuberías. La placa absorbidora suele ser de color negro, ya que de esta forma se puede adquirir mayor radiación. Debido a que la placa del convertidor alcanza temperaturas considerablemente altas, se convierte en emisora de radiación que es energía perdida. Para minimizar estas pérdidas y para aumentar la absorción de radiación, se usan recubrimientos selectivos que suelen estar formados por una capa delgada de óxido metálico, de color negro, con baja emisividad de radiación térmica y con un gran coeficiente de absorción.

El fluido que circule a través de las tuberías metálicas ha de estar en contacto con el absorbedor. La radiación se convierte en calor al ser interceptada por la superficie captadora y la temperatura del convertidor aumenta hasta hacerse mayor que la temperatura del fluido. El calor se propaga siguiendo el gradiente de temperaturas: primero a través de la placa del convertidor hasta alcanzar la zona de unión entre la placa y la tubería que conduce al fluido. La unión entre la tubería y la placa debe tener continuidad metálica (normalmente por soldadura), si no la transferencia de calor puede verse perjudicada y podría ser con convección en vez de conducción ya que se genera una resistencia térmica mayor y se dificulta esta transferencia de calor desde la placa al tubo.

Al encontrarse el convertidor a una temperatura superior a la del ambiente, se transfiere de forma espontánea calor a la atmósfera. La emisión de calor por la cara que recibe la radiación es mitigada por el efecto invernadero. Para reducir la emisión de calor por la cara posterior se instala una lámina de aislamiento térmico, entre la cara posterior y la caja. El aislamiento cumple la función de disminuir las pérdidas de calor desde el convertidor hasta el ambiente que lo rodea.

Un elemento importante de los captadores es la caja. En ella se alojan el conjunto de componentes que lo constituyen. Su función es garantizar la estanquidad para evitar pérdidas de calor y entrada de humedad. Debe ser un elemento duradero para aguantar las condiciones climatológicas y el paso del tiempo.

1.0.8.2. Acumulador

En muchas ocasiones es necesario utilizar el agua caliente cuando no hay radiación solar disponible, por lo que es necesario la existencia de un depósito acumulador donde almacenarla. Se llaman acumuladores de inercia térmica porque deben conservar el calor durante el mayor tiempo posible. Para ello, se utilizan grandes cantidades de aislante. Además han de presentar una alta resistencia mecánica (normalmente con doble pared), pues suelen contener grandes volúmenes de agua, y la durabilidad de sus materiales ha de quedar garantizada.

Los acumuladores suelen ser cilíndricos y con una altura mayor que su diámetro, ya que de esta forma se favorecerá la estratificación, que es la capacidad que tiene un fluido para reposar por capas ordenado según su temperatura. De esta forma, se puede extraer el agua caliente por la parte superior para su consumo y la fría por la parte inferior para su calentamiento.

Existen acumuladores cuyo intercambiador de calor se encuentra incorporado en su interior (llamados interacumuladores). Estos son los más utilizados, aunque cuentan con la desventaja de que, en caso de avería, se inutiliza el acumulador por completo.

Es muy importante realizar un correcto dimensionado del depósito acumulador. El dimensionado depende de varios factores:

- Superficie de colectores instalada: dependiendo de la superficie del colector, el tamaño del acumulador será mayor o menor. Los estudios teóricos y experimentales demuestran que el volumen óptimo de acumulación está en torno a los 70 litros por cada m^2 de colector.
- Temperatura de utilización: dependiendo de la temperatura a la que se pretenda consumir el fluido, el depósito acumulador tendrá un tamaño u otro. Si se quiere

obtener agua a gran temperatura, se utilizará un almacenamiento más pequeño, ya que de esta forma se mantendrá una temperatura elevada durante más tiempo.

- Desfase entre captación y consumo: dependiendo del tiempo que pase desde el calentamiento hasta el consumo, el tamaño también variará. Para desfases no superiores a 24 horas, el volumen óptimo de acumulación está entre 60 y 90 litros por m² de colector.

Un acumulador mal dimensionado dará lugar a un mal funcionamiento de la instalación solar. Si el depósito es mayor de lo necesario no se alcanzarán las temperaturas deseadas, mientras que si el almacenamiento es menor se producirán sobrecalentamientos que podrían dañar la instalación.

1.0.8.3. Intercambiador de calor

Desde los paneles solares, y a través de una red de tuberías, el fluido térmico llega al intercambiador, donde cede el calor acumulado al fluido que recorre el circuito secundario (normalmente agua). Por lo general, en este tipo de instalaciones suelen usarse intercambiadores de placas que esencialmente consisten en una serie de láminas por las que pasan alternativamente el fluido caloportador y el fluido receptor, con lo que al final se produce un enfriamiento en el circuito primario y un calentamiento del secundario.

1.0.8.4. Tuberías

Es el esqueleto de la instalación, ya que a través de ellas pasan el fluido caloportador y el agua que posteriormente se utilizará.

Se recomienda que las tuberías sean de cobre, aunque también pueden ser de acero inoxidable e incluso de materiales plásticos (PVC) en el tramo final (anterior al consumo). Un factor importante que se debe tener en cuenta es que el agua caliente tiene que realizar el recorrido más corto posible para evitar pérdidas innecesarias. Además, es importante que todas las tuberías estén perfectamente aisladas.

1.0.8.5. Vaso de expansión

El vaso de expansión es uno de los elementos de seguridad indispensables para que la instalación funcione correctamente, ya que su función es absorber la dilatación del fluido en el momento en el que se sobrecalienta y evitar así el escape del fluido a través de la válvula de seguridad.

Existen varios tipos de vasos de expansión:

- Vasos de expansión abiertos: este tipo de vaso se utiliza únicamente en los sistemas de circuito abierto. Se sitúa en la parte superior del circuito.
- Vasos de expansión cerrados: son los más utilizados ya que se utilizan cuando el sistema es de circuito cerrado. Se trata de un recipiente cerrado herméticamente que cuenta con dos cámaras en su interior separadas por una membrana flexible que permite la variación de volumen de ambas. En una de las cámaras se puede encontrar gas mientras que en la otra fluido. Con este tipo de vaso de expansión, lo que se pretende es aportar una capacidad extra al circuito, en la que se absorba la expansión del fluido, por lo que debe estar dimensionado para aceptar dicha expansión en las condiciones más desfavorables.

Su funcionamiento es el siguiente. El fluido caloportador se expande y ejerce una sobrepresión. Esto provoca que el empuje del fluido sobre la superficie de la membrana sea mayor que el empuje producido por la presión del gas en el otro lado y mayor que la resistencia a la flexión de la propia membrana. De esta forma, se produce una deformación de la membrana hacia la cámara del gas permitiendo la expansión del fluido hacia el vaso.

Una vez el fluido se encuentra completamente dilatado, el gas está comprimido, por lo que aparece una sobrepresión en ese lado de la membrana. Sin embargo, esa sobrepresión no es en ningún caso superior al aumento de presión que se ocasionaría en el circuito si no existiera el vaso de expansión.

Finalmente, cuando el fluido vuelve a enfriarse, este se contrae y reduce su presión. De esta forma, la membrana vuelve a su posición inicial (ver Fig. 5).

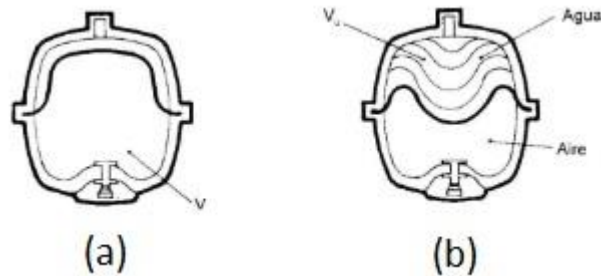


Fig. 5.- Vaso de expansión funcionando en: (a) frío; (b) caliente. Fuente: [3]

Es recomendable situar el vaso de expansión en la zona fría, para conseguir así una mayor durabilidad.

1.0.8.6. Válvulas

La elección de las válvulas con las que la instalación contará se realizará según su función, que viene marcada por el DB-HE del Código Técnico de la Edificación:

- Para aislamiento: válvulas de esfera.
- Para equilibrado de circuitos: válvulas de asiento.
- Para vaciado: válvulas de esfera o macho.
- Para llenado: Válvulas de esfera.
- Para purga de aire: válvulas de esfera o macho.
- Para seguridad: válvula de resorte.
- Para retención: válvulas de disco, de clapeta o de muelle (disco partido).

1.0.9. Calefacción mediante suelo radiante

El calor se puede transmitir de diversas formas. Una de ellas es la radiación. Si se puede mantener alguna superficie interior de la vivienda (suelo, paredes o techo) a una temperatura controlada para contrarrestar el frío que penetra transmitiéndose a través de los cerramientos, esta superficie establecería intercambios de calor por radiación con el cuerpo humano y los elementos que estén dentro de su campo de alcance e intercambios convectivos con aire del ambiente. Este sistema se denomina calefacción por superficies radiantes.

Las calefacciones por tuberías de agua calientes empotradas en paredes o suelos se conocen y se han ejecutado desde principios del siglo XX, pero el gran desarrollo de las calefacciones por suelo radiante se produce con la aparición de las tuberías flexibles termoplásticas, ya que este tipo de tuberías permiten una mayor facilidad en la instalación y en el manejo, son más baratas que las tuberías de cobre e incluso aumentan en fiabilidad.

Actualmente, en España es un sistema que está creciendo a pasos agigantados. La facilidad de montaje, el precio de la instalación, el aumento del bienestar en la vivienda y el ahorro de energía que se consigue con este sistema hacen que cada vez más este tipo de montajes se acerque al número de instalaciones convencionales y más conocidas como los radiadores o las bombas de calor.

Existe la posibilidad de realizar la instalación en paredes, techos o suelos, siendo esta última opción la más fácil de ejecutar (además de ser el sistema que más se acerca al que sería el sistema de calefacción ideal) (ver Fig. 6). Esto es debido a que, en el caso de las paredes, se cubren habitualmente con muebles, cuadros u otros objetos, haciendo que la eficiencia del sistema no sea la idónea, mientras que en el caso del techo, la instalación se monta en una cámara de aire, reduciendo también su rendimiento.

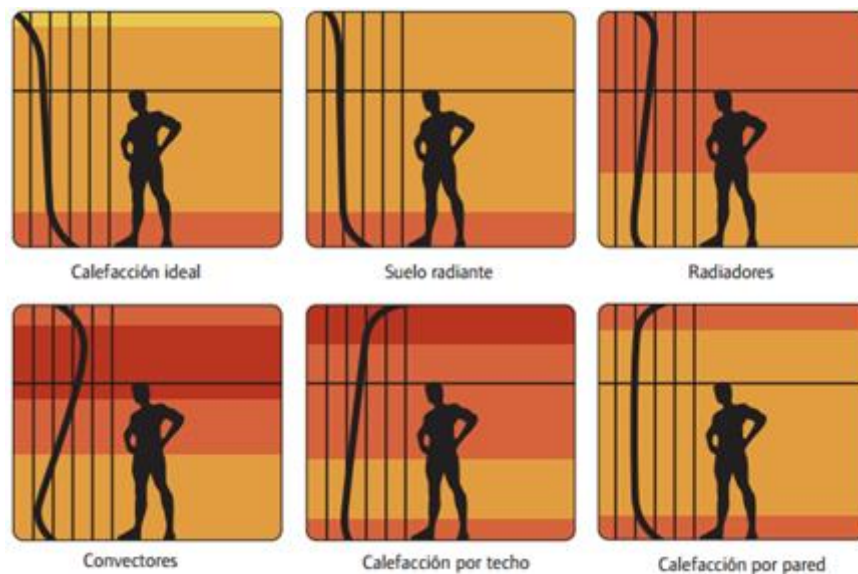


Fig. 6.- Distribución de temperaturas según la altura para distintos sistemas de calefacción. Fuente: [4]

Desde el punto de vista del confort es idóneo poder controlar la temperatura de todas las superficies que rodean al sujeto, puesto que si el cuerpo humano emite radiación calorífica en todas las direcciones se producirá una mejor sensación de bienestar. Además, desde el punto de vista del ahorro energético, la temperatura de trabajo del fluido es inferior que en un sistema de calefacción convencional, haciendo que la energía necesaria disminuya.

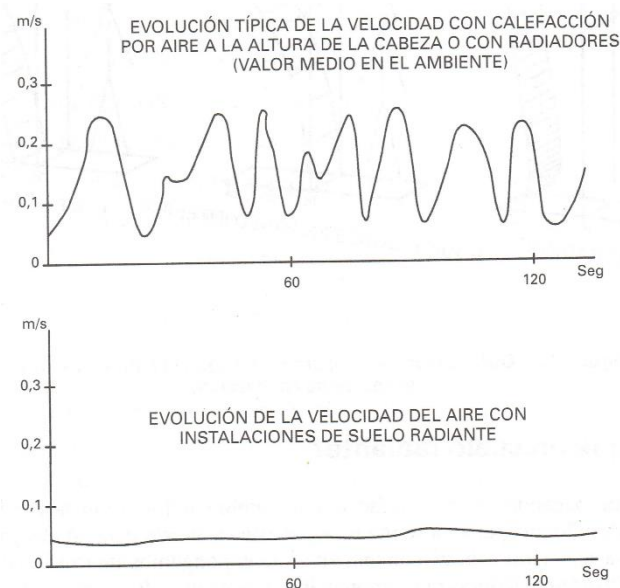


Fig. 7.- Gráficos de fluctuación de la velocidad del aire a la altura de la cabeza según tipo de calefacción. Fuente: [5]

Por los motivos anteriormente descritos, se decide realizar una instalación de calefacción mediante suelo radiante en la vivienda.

Calefacción radiante	Calefacción convencional
Temperatura de trabajo entre 30°C y 55°C	Temperatura de trabajo entre 70°C y 90°C
Temperatura uniforme	Temperatura no uniforme (existen zonas frías y zonas calientes)
Permite versatilidad en la decoración y el mobiliario	Limita las opciones decorativas en paredes (hay radiadores)
La velocidad de circulación del aire es muy pequeña (no hay corrientes) (ver Fig. 6)	En el caso de las bombas de calor, pueden provocar movimiento de polvo y corrientes de aire
Menos temperatura = menos energía = menor coste	Más temperatura = más energía = mayor coste
Mayor bienestar	Puede provocar dolores de cabeza según el movimiento del aire caliente

Tabla 2.- Ventajas del sistema de calefacción radiante frente al convencional

1.1. OBJETO

El presente proyecto consiste en el diseño y especificación de las condiciones técnicas y económicas de una instalación solar térmica de baja temperatura para el suministro de ACS con soporte de caldera de gas natural. A parte, se diseñará una instalación de calefacción mediante un sistema de suelo radiante, que se nutrirá de la energía procedente de la misma caldera de gas natural.

Esta instalación se realizará en un piso en el municipio de Tamarite de Litera, que pertenece a la provincia de Huesca. Al estar el edificio ya construido, se van a intentar aprovechar al máximo las instalaciones existentes de ACS pero no las de calefacción, ya que actualmente dispone de radiadores por convección.

Está previsto que la instalación solar que se va a instalar cubra prácticamente la demanda total de ACS durante todo el año, mientras que para el sistema de calefacción radiante se utilizará una caldera de gas natural (que dará apoyo al suministro de ACS cuando sea necesario). El interés por el medio ambiente y el ahorro de energía han sido motivo suficiente para decantarse por este tipo de instalación.

Para poder dimensionar la instalación correctamente deberá realizarse un estudio de las necesidades energéticas en invierno para una vivienda con un total de 4 ocupantes (con el objetivo de conocer las cargas de calefacción) y un estudio de la demanda energética de ACS de la vivienda.

Para comprobar que el proyecto tiene cierta viabilidad, se realizará un presupuesto final y un cálculo del periodo total de amortización de la inversión.

1.2. ALCANCE

El alcance del proyecto incluye la realización de un estudio con el objetivo de diseñar, y previamente dimensionar, la instalación de un sistema de captadores solares para el suministro de ACS y de un sistema de calefacción de suelo radiante en un piso de la tercera planta de un bloque de viviendas de la localidad de Tamarite de Litera, en la provincia de Huesca.

El proyecto no incluye el diseño de la instalación eléctrica ni de las tuberías de suministro de ACS, ya que estas ya están instaladas en la vivienda. Se propondrá un diseño de las tuberías para suelo radiante.

Tampoco se incluyen dentro del proyecto los trabajos de ejecución ni de dirección de obra, ya que solo se está realizando el diseño de la instalación, no la implantación.

1.3. ANTECEDENTES

Este proyecto viene motivado por el enorme crecimiento que están experimentando las energías renovables y por el interés del autor por aprender más a fondo todo lo relacionado con este tipo de instalaciones, especialmente las instalaciones de energía solar.

El edificio en el que se va a implementar toda la instalación se encuentra en el municipio de Tamarite de Litera, en la provincia de Huesca, a una altitud total de 358 metros sobre el nivel del mar. La orientación de la vivienda puede considerarse sud.

Se trata de una vivienda localizada en el tercer piso del edificio. Cuenta con un total de 87,5 m² de superficie útil.

El equipo solar que se pretende instalar se situará en la cubierta del edificio.

Este equipo se dimensionará teniendo en cuenta unas necesidades energéticas medias que vendrán calculadas en el proyecto. Además, se cubrirán las necesidades puntuales con el apoyo de una caldera de gas natural.

1.4. NORMAS Y REFERENCIAS

La instalación solar debe cumplir con las normas y los reglamentos vigentes durante la realización de este proyecto.

1.4.1. Normas aplicadas

- Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE).
- Código Técnico de la Edificación (CTE), en sus Documentos Básicos de Ahorro de Energía y Salubridad.
- Norma UNE 94002 “Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria. Cálculo de la demanda de energía térmica”.
- Norma UNE 157001:2002 “Criterios generales para la elaboración de proyectos”.

1.4.2. Bibliografía

- Ortega Rodríguez, Mario y Antonio, “Calefacción y Refrescamiento por Superficies Radiante” (Madrid, Paraninfo, 2001).
- Cabeza, Luisa Fernanda, “Producción de la energía térmica” (Lleida, Paperkite, 2005).
- Peuser, Felix A., “Sistemas Solares Térmicos. Diseño e instalación”, (Pregensa, 2004).

1.4.3. Software

- CYPECAD MEP
- AutoCAD 2015
- Microsoft Office Word
- Microsoft Office Excel

1.4.4. Páginas web

- www.aragon.es
- www.idae.es
- www.vaillant.es
- www.aemet.es
- www.varinia.es
- www.tamaritedelitera.es

- www.boe.es
- www.orkli.es
- <http://calculationsolar.com>

1.4.5. Otras referencias

- “Diseño de la instalación de calefacción y ACS, mediante energía solar térmica, en un polideportivo de Fraga”, TFG de Jorge Blanc Cotí, Universitat de Lleida.
- “Diseño de un sistema de captación de energía solar térmica para la producción de ACS en un edificio de viviendas”, TFG de Gisela Quero Sánchez, ETSEIAT.
- “Disseny d’una instal·lació solar tèrmica per ACS i calefacció en una casa prefabricada, a Lleida”, TFG de Verónica Alaminos Fernández, Universitat de Lleida.

1.4.6. Fuentes

[1]: www.ekidom.com

[2]: <http://es.slideshare.net/Perusolar/5-sistema-solar-de-calentamiento-de-agua-para-usos-productivos>

[3]: www.caloryfrio.com

[4]: www.uponor.es

[5]: Ortega Rodríguez, Mario y Antonio, “Calefacción y Refrescamiento por Superficies Radiante” (Madrid, Paraninfo, 2001).

[6]: Código Técnico de la Edificación

[7]: CYPE

[8]: http://www.vulka.es/empresa/ingenieria-toledo_1430861.html

[9]: www.tifell.com

[10]: www.orkli.es

[11]: www.gerardorobles.es

[12]: <http://www.solarweb.net/forosolar/solar-termica/6162-abaco-calculo-que-relaciona-perdidas-rozamiento-caudal.html>

1.5. REQUISITOS DE DISEÑO

En este capítulo de la memoria se definirán los datos de partida y las bases para la realización del proyecto.

1.5.1. Requisitos generales del proyecto

La instalación solar que se va a implementar debe ser la adecuada para la vivienda. Esta debe garantizar confort y bienestar para los ocupantes a través del suministro de ACS. La instalación solar no va a ser capaz de cubrir el 100% de la demanda anual (puntualmente y durante los meses de verano, si va a ser capaz de cubrir esa demanda), por lo que la caldera de gas natural que suministrará energía para el suelo radiante servirá de apoyo al sistema solar. Además, la instalación debe producir un ahorro anual en combustible que permita la amortización de la inversión.

El Código Técnico de la Edificación, en su documento sobre Ahorro de Energía (DB-HE), establece que debe haber una contribución mínima por parte de la instalación solar, en función de la zona climática en la que la vivienda se encuentre y de la demanda total de ACS (se toma la contribución mínima del CTE porque el municipio no posee ninguna norma más restrictiva que esta).

1.5.2. Descripción de la vivienda

La vivienda se encuentra en la localidad de Tamarite de Litera, en la provincia de Huesca, y tiene una antigüedad de 17 años. La orientación de la fachada delantera es sud-este, aunque podría considerarse una orientación sud, ya que la desviación es prácticamente nula. Esta orientación facilitará la instalación del colector solar. Se trata del edificio más alto de los alrededores, por lo que no habrá ningún elemento que produzca sombra durante las horas diurnas y afecte a los colectores.

El edificio consta de 3 plantas (y una planta baja en la que se encuentran los trasteros). Cada planta tiene un total de 2 viviendas que cuentan con tres habitaciones, dos lavabos, un salón, una cocina, una sala de estar y una galería.

La distribución de los metros cuadrados de la vivienda es el siguiente:

Dependencia	Altura (m)	Superficie (m ²)
Cocina	2,70	8,7
Salón	2,70	18,8
Sala de estar	2,70	9,6
Habitación 1	2,70	15,6
Habitación 2	2,70	5,4
Habitación 3	2,70	7,5
Lavabo 1	2,70	5,1
Lavabo 2	2,70	4,7
Galería	2,70	2,8
Recibidor y distribuidor	2,70	9,3

Tabla 3.- Distribución de las superficies de la vivienda

1.5.3. Descripción de los cerramientos

La vivienda tiene una antigüedad de 17 años. Es por esto que no cumple con los valores límite de transmitancia de sus cerramientos.

El municipio de Tamarite de Litera se encuentra en la zona climática. Para la determinación de esta zona, se debe acudir al apéndice B del DB-HE, que, para la altura de la localidad, establece que es la zona D3.

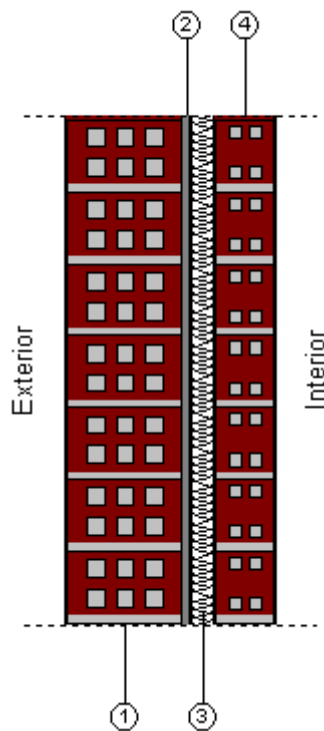
La legislación actual, a través del CTE en su documento básico sobre ahorro de energía (DB-HE), establece que los valores mínimos de transmitancia para la zona D3 son los siguientes:

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{Mlim}: 0,66 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{Slim}: 0,49 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{Clim}: 0,38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{Llim}: 0,28$

Fig. 8.- Transmitancias límite en la zona climática de Tamarite de Litera. Fuente: [6]

La vivienda cuenta con diversos tipos de cerramientos. A continuación se describen los materiales de los que están compuestos y su transmitancia, que viene calculada por el programa CYPE:

○ Fachada:



Composición del cerramiento:

- 1.- Fábrica de ladrillo cerámico perforado cara vista: 13,5 cm ($\lambda = 0,750 \text{ W/m}\cdot\text{K}$)
- 2.- Enfoscado de cemento a buena vista: 1 cm ($\lambda = 1,3 \text{ W/m}\cdot\text{K}$)
- 3.- Poliestireno expandido: 3 cm ($\lambda = 0,036 \text{ W/m}\cdot\text{K}$)
- 4.- Fábrica de ladrillo cerámico hueco: 7 cm ($\lambda = 0,438 \text{ W/m}\cdot\text{K}$)

Espesor total: 24,5 cm

Transmitancia del cerramiento:

$$U_m = 0,74 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$$

Fig. 9.- Vista de sección del muro de fachada. Fuente: [7]

○ Cubierta:

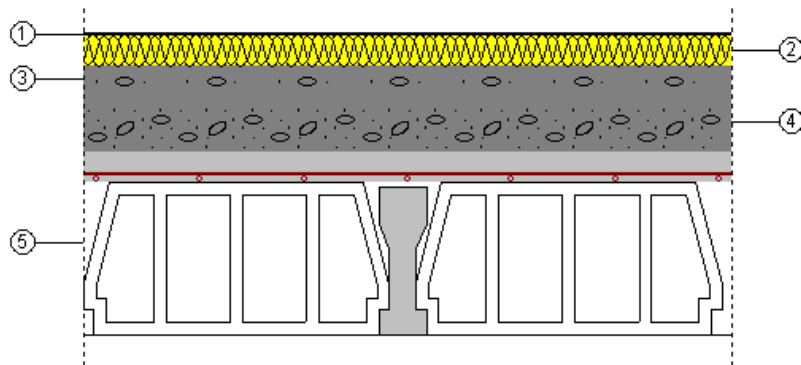


Fig. 10.- Vista de sección de la cubierta. Fuente: [7]

Composición del cerramiento:

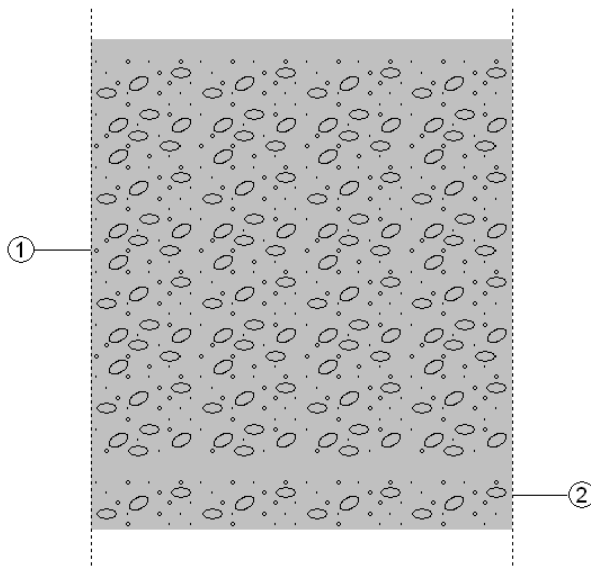
- 1.- Impermeabilización asfáltica: 0,45 cm ($\lambda = 0,230 \text{ W/m}\cdot\text{K}$)
- 2.- Lana mineral: 5 cm ($\lambda = 0,039 \text{ W/m}\cdot\text{K}$)
- 3.- Capa de mortero de cemento: 4 cm ($\lambda = 1,3 \text{ W/m}\cdot\text{K}$)
- 4.- Arcilla expandida: 10 cm ($\lambda = 0,190 \text{ W/m}\cdot\text{K}$)
- 5.- Forjado unidireccional de bovedillas de hormigón: 30 cm ($U = 1,09 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)

Espesor total: 49,5 cm

Transmitancia del cerramiento:

$$U_c = 0,45 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$$

- Suelo:



Composición del cerramiento:

1.- Hormigón armado: 60 cm ($\lambda = 2,3 \text{ W/m}\cdot\text{K}$)

2.- Hormigón de limpieza: 10 cm ($\lambda = 2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$)

Espesor total: 73 cm

Transmitancia del cerramiento:

$U_s = 0,76 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

Fig. 11.- Vista de sección del suelo. Fuente: [7]

1.5.4. Cargas térmicas de la vivienda

La carga térmica de una vivienda es aquella cantidad de calor que se ha de transmitir a cada habitación (o al conjunto) por tal de conservar el aire interior a una temperatura determinada. Según el día y época del año, estas cargas pueden ser de calefacción o de refrigeración.

Este proyecto se basa en las cargas de calefacción, por lo que no se calcularán las de refrigeración. Para el cálculo de estas cargas térmicas de calefacción se utiliza el software para ingeniería CYPE, que incorpora el Método de las Series Temporales Radiantes (RTSM) propuesto y recomendado por la "American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers" (ASHRAE) para el cálculo de las cargas de calefacción (en el anexo 2.2.3. se puede consultar la descripción del proceso seguido para el cálculo).

A continuación se muestran los resultados obtenidos del programa CYPE:

Habitación	Potencia de calefacción (W)	(W/m ²)
Cocina	968,12	109,94
Salón	1395,49	73,25
Sala de estar	899,62	92,43

Dormitorio 1	1134,75	71,63
Dormitorio 2	611,52	111,36
Dormitorio 3	983,41	130,67
Lavabo 1	397,59	78,27
Lavabo 2	447,23	95,39
Recibidor y distribuidor	374,29	40,11
TOTAL	7212,02	803,05

Tabla 4.- Cargas de calefacción de la vivienda

1.5.5. Necesidades de ACS de la vivienda

La vivienda cuenta con tres dormitorios y una ocupación de 4 personas. Con estos datos, es posible el cálculo de la demanda energética de ACS de la vivienda. Los cálculos se encuentran en el anexo correspondiente:

Mes	D _{diaria} (l/día·pers)	Días	Personas	D _{energética} (MJ/mes)
Enero	22	31	4	594,78
Febrero	22	28	4	526,92
Marzo	22	31	4	560,57
Abril	22	30	4	536,09
Mayo	22	31	4	519,75
Junio	22	30	4	480,91
Julio	22	31	4	462,74
Agosto	22	31	4	474,14
Septiembre	22	30	4	469,88
Octubre	22	31	4	526,36
Noviembre	22	30	4	553,53
Diciembre	22	31	4	594,78
TOTAL (MJ/año)				6300,46

Tabla 5.- Demanda energética mensual y anual de ACS

1.6. ANÁLISIS DE SOLUCIONES

1.6.1. Principios básicos

Es importante tener presente que uno de los objetivos del proyecto es conseguir el máximo ahorro de energía convencional y, por lo tanto, de dinero. Y esto no es a veces compatible con determinados diseños de sistemas en los que se hace trabajar indebidamente al sistema, causando así un pobre rendimiento a la inversión realizada.

Evidentemente lo primero que se debe hacer es proveer al sistema del número suficiente de colectores para poder captar la energía necesaria, eligiendo la inclinación idónea para aprovechar la máxima cantidad de energía solar disponible en cada mes. A la vez que será preciso regular la captación de dicha energía para que realmente se convierta en energía útil. Será pues necesario medir y comparar permanentemente los niveles de temperatura en los colectores y en el almacenamiento, así como disponer de los mecanismos automáticos necesarios para que en el circuito primario se establezca la circulación del fluido, en función de si se produce o no un incremento de la energía útil acumulada.

También se deberá prestar atención a que se consuma prioritariamente la energía solar, así, el sistema de almacenamiento deberá trabajar de modo que favorezca el uso prioritario de la energía solar frente a la auxiliar (será una caldera de gas natural) y nunca al revés.

En todo caso hay que asegurar la correcta conjunción entre energía solar y convencional, es decir, precalentar toda el agua que posteriormente sea consumida, y alcanzar la temperatura de uso con la mínima cantidad de energía auxiliar. Así como la conveniencia de evitar mezclar la energía solar con la auxiliar.

1.6.2. Agua caliente sanitaria

Como se ha comentado anteriormente, esta instalación de energía solar térmica está diseñada para cubrir las necesidades de ACS de la vivienda. Aun así, la instalación no va a ser capaz de satisfacer el 100% de la demanda, por lo que será necesario disponer de un sistema auxiliar que, a la vez de aportar la energía faltante a la distribución de ACS, cubra las necesidades de calefacción de la vivienda.

La instalación del sistema de captadores solares será en sistema cerrado. Un fluido caloportante circulará a través de ella y, mediante un serpentín en el interior del acumulador, calentará el agua que posteriormente se suministrará a la vivienda. El CTE, en su DB-HE cita que “No se permite la conexión de un sistema de generación auxiliar en el acumulador solar”. De esta forma, en el momento en el que el depósito acumulador no pueda cubrir la demanda de ACS, la caldera enviará agua directamente al sistema de distribución sin pasar por el acumulador. Hay que recordar que, en invierno, el sistema de gas natural también proporcionará la energía necesaria para cubrir las necesidades de calefacción de la vivienda.

Para el dimensionado de la instalación de energía solar se utilizará el método de las curvas f (más comúnmente conocido como el método F-Chart). Este cálculo permitirá realizar el cálculo de la cobertura solar que proporciona la instalación (el CTE en su DB-HE establece que esta cobertura mínima debe ser del 40%).

1.6.2.1. Descripción de la instalación

La instalación solar se situará en la cubierta, en una zona sin inclinación. La orientación será sud, ya que es la orientación óptima para este tipo de instalaciones. Que el piso sea el más alto del bloque tiene la ventaja de que no es necesaria una larga cantidad de tuberías para unir la instalación en la cubierta con el acumulador, que se encontrará en la galería de la vivienda.

El ángulo de inclinación del colector será de 41° (la inclinación óptima para el emplazamiento varía entre los 13° y los 50° , valores que han sido calculados en el apartado 2.2.2. del anexo).

Como se ha comentado en líneas superiores, la instalación contará con un circuito cerrado en los colectores. Por este circuito circulará el fluido que, posteriormente, calentará el agua para el suministro de ACS. Para lograr una correcta circulación del fluido se utilizará una bomba.

Es muy importante que el fluido se mantenga líquido por debajo de los 0°C , ya que en invierno las temperaturas son muy bajas y podría congelarse. Los fluidos más utilizados

en este tipo de instalaciones son mezclas de agua con anticongelante, combinaciones de líquidos sintéticos y aceites de silicona.

El tipo de fluido seleccionado dependerá de las condiciones climatológicas. Debido a que la zona registra temperaturas negativas durante los meses de invierno, se decide que el líquido que circule por la instalación será una mezcla de agua con anticongelante. Esta mezcla puede ser etilenglicol o propilenglicol. A continuación se detallan las características de este fluido:

Aspecto	Líquido transparente – rojo fluorescente
Densidad (20°C)	1,032 – 1,035 g/cm ³
Índice de refracción (20°C)	1,380 – 1,384
Valor de pH (20°C)	9,0 – 10,5
Reserva de alcalinidad	Min. 20 ml 0,1 n HCl
Viscosidad (20°C)	4,5 – 5,5 mm ² /s
Punto de ebullición	102 – 105 °C
Punto de congelación	-28 °C
Contenido de agua	55 – 58 %

Tabla 6.- Características del fluido calo portante de la instalación

Se utilizará solamente un captador solar (por motivos económicos, es la mejor opción). Este captador logrará cubrir prácticamente el 95% de la demanda (en los meses de verano será capaz de cubrir la totalidad de esta) y tendrá el apoyo de una caldera de gas natural. El captador seleccionado es el modelo T25-M de la compañía Termicol (en el apartado 2.2.3. del anexo se puede ver los cálculos comparativos entre varios colectores). La razón de seleccionar este colector es que, tras la realización de estos cálculos, es el modelo que aporta una mayor cantidad de energía respecto al precio que se debe pagar por él. A continuación se detallan las características del captador:

Modelo	T25-M
Compañía	Termicol Energía Solar S.L.
Material	Aluminio
Área bruta (m ²)	2,55

Área útil (m ²)	2,4
Caudal óptimo (l/h·m ²)	40

Tabla 7.- Características del captador seleccionado

Tras realizarse los cálculos para determinar la energía útil producida por el captador durante todos los meses del área, se puede comparar con la demanda energética. En la figura 12 se puede apreciar cómo según el mes del año, la diferencia entre energía útil y demandada es mayor o menor.

El CTE en su DB-HE establece que, la fracción solar, en ningún momento puede superar el 110%. Además, también indica que no se pueden enlazar tres meses consecutivos con más del 100% de la demanda cubierta. En esta instalación se incumplen ambas directrices, es por eso que, durante los meses de verano, se deberá realizar un tapado parcial del captador para disminuir el área de captación y, de esta forma, disminuir la fracción solar por debajo del 100%.

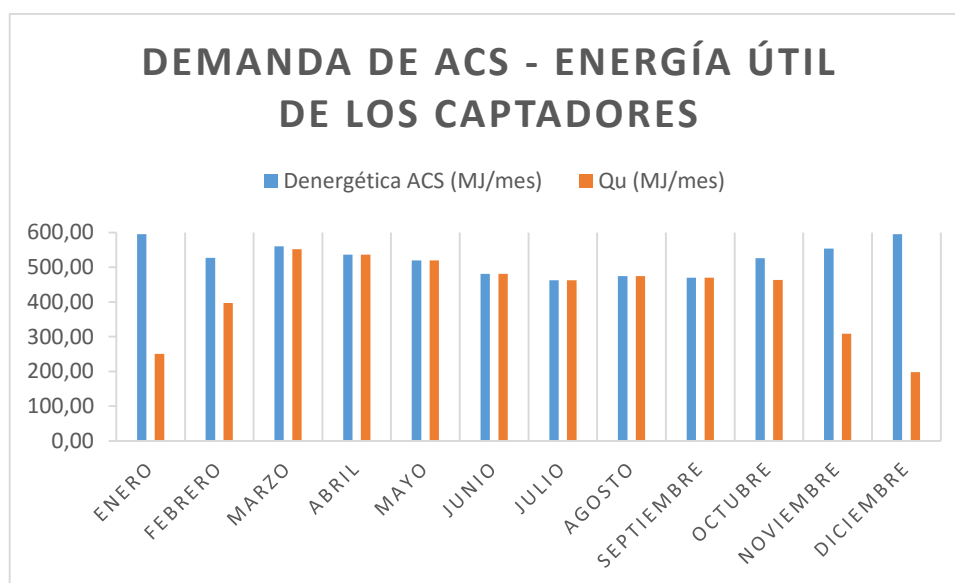


Fig. 12.- Gráfico comparativo entre energía demandada y energía útil. Fuente: propia

Además del captador solar, una de las partes importantes de la instalación es el depósito acumulador. La función del depósito es almacenar el agua calentada por el fluido caloportante procedente de los captadores.

El tanque contará con un serpentín interno que actuará como intercambiador de calor con el captador.

Además del acumulador y el propio captador, la instalación deberá contar con los siguientes elementos (la mayoría incluidos con el captador):

- Unidad de control de la instalación
- Grupo hidráulico formado por:
 - Bomba de impulsión para el fluido calo portante
 - Válvula de seguridad
 - Regulador de caudal del circuito primario
 - Manómetro
- Sonda de temperatura
- Vaso de expansión
- Tuberías del circuito primario
- Purgadores
- Válvulas de corte

A continuación se muestra un esquema de la instalación:

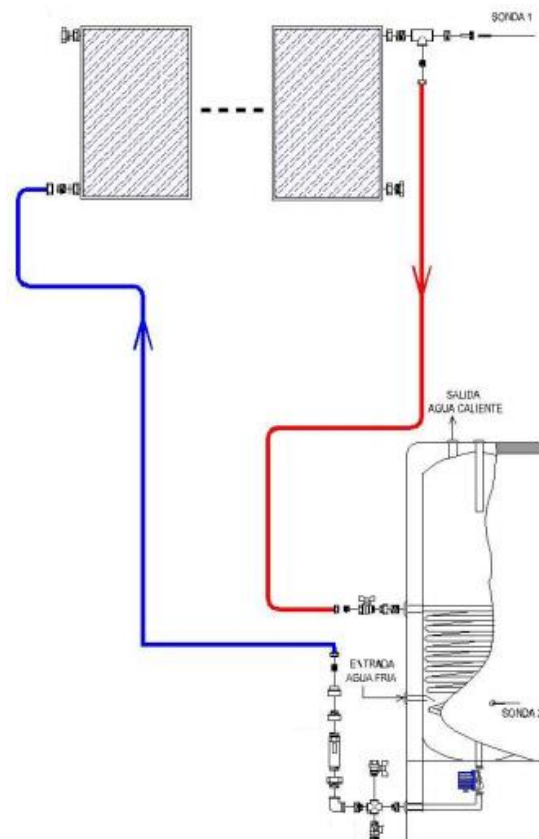


Fig. 13.- Esquema de una instalación solar térmica. Fuente [8]

En cuanto a la bomba de circulación, se utilizara una bomba de la misma casa que el captador (Termicol), ya que es la que se recomienda por el mismo. La bomba tiene como referencia el nombre BOMBAD-01, y está recomendada para instalaciones que cuenten con entre 1 y 6 captadores, como es este caso. Además, es una bomba que debe utilizarse en circuito primario (se recuerda que hay instalaciones en las que el ACS pasa directamente por el captador y no es necesaria la utilización de fluido caloportante).

Respecto al vaso de expansión, se escoge un vaso de 25 litros (en el anexo referente al cálculo de la instalación se puede ver el porqué).

Para la selección del depósito acumulador, se escoge uno de 150 litros. El CTE en su DB-HE, indica que ese volumen debe encontrarse entre los 120 y los 432 litros. El fabricante, para este modelo de captador solar y para una vivienda de menos de 100 m², recomienda el depósito de 150 litros, por lo que cumple con la normativa.

1.6.3. Calefacción

1.6.3.1. Selección de la caldera

Tras calcularse las cargas de calefacción, es el momento de decidir cuál es la opción, en cuanto a lo que a caldera se refiere, más económica y mejor.

Es por eso que se decide conservar la actual caldera que estaba dando energía tanto a ACS como a calefacción.

La decisión de conservar esta caldera es puramente económica. El aparato únicamente tiene una antigüedad de 2 años y se encuentra en un buen estado, por lo que no es necesario sustituirla.

Además, la caldera es capaz de cubrir todas las necesidades de calefacción y dar soporte complementario a la instalación solar.

Esta caldera es el modelo Ecomax 24MT de la marca Tifell. En sus características técnicas destaca que puede regular tanto la temperatura a la que se desea el ACS como la temperatura de calefacción, pudiendo esta adaptarse a calefacción mediante suelo radiante.

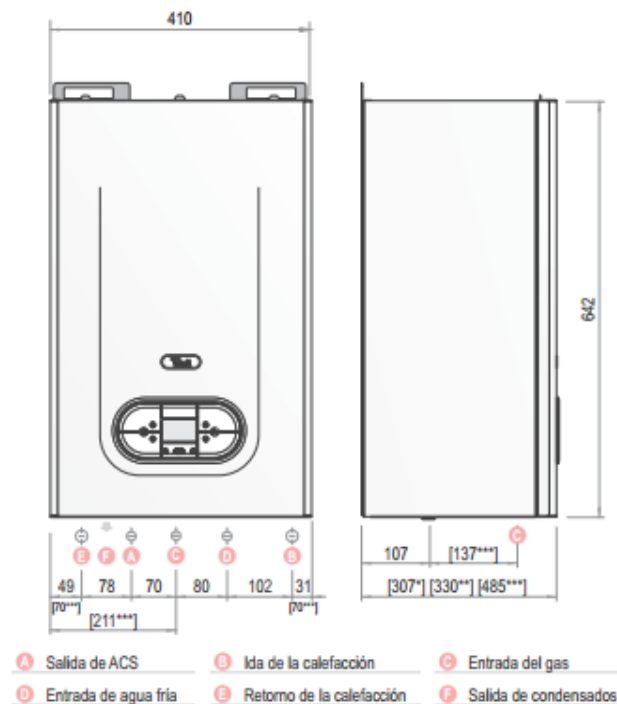


Fig. 14.- Representación de la caldera Ecomax 24MT de la marca Tifell. Fuente: [9]

1.6.3.2. Diseño de la instalación radiante

Una instalación de suelo radiante precisa un diseño que permita el máximo aprovechamiento de la energía calorífica. Por eso, es recomendable que los colectores se sitúen en una parte central de la vivienda, para poder abastecer de la misma forma todas las estancias de esta.

Se necesita una gran cantidad de tubo para poder cubrir toda la superficie de la vivienda. Cada tubo, según especifica el CTE, no puede superar la longitud de 120 metros. Las longitudes, cuyos cálculos se pueden comprobar en el apartado 5.4.2. de los anexos, para cada circuito son las siguientes:

Longitud de los circuitos				
Dependencia	Área (m ²)	Distancia al colector (m)	Separación de los tubos (m)	Longitud del circuito (m)
Cocina	8,7	2,5	0,20	48,50
Salón	18,8	3,1	0,20	100,20
Sala de estar	9,6	0,9	0,20	49,80
Habitación 1	15,6	4,1	0,20	86,20
Habitación 2	5,4	5,5	0,20	38,00
Habitación 3	7,5	5,3	0,20	48,10

Lavabo 1	5,1	3,2	0,10	57,40
Lavabo 2	4,7	4,1	0,10	55,20
Recibidor y distribuidor	9,3	0,3	0,20	47,10
Caldera - Colector				25,20

Tabla 8.- Longitud de los tubos para cada circuito.

En el plano 7 se puede ver la disposición de los tubos en las distintas dependencias de la vivienda.

Conocidas las longitudes de las tuberías, se debe calcular el caudal (viene especificado en el apartado 5.4.3. de los anexos):

Caudales de los circuitos			
Dependencia	Potencia térmica (W)	Potencia térmica (kcal/h)	Caudal (l/h)
Cocina	1117,36	960,76	96,08
Salón	1465,24	1259,88	125,99
Sala de estar	960,76	826,10	82,61
Habitación 1	1153,5	991,83	99,18
Habitación 2	713	613,07	61,31
Habitación 3	938,11	806,63	80,66
Lavabo 1	372,36	320,17	32,02
Lavabo 2	431	370,59	37,06
Recibidor y distribuidor	356,56	306,59	30,66
TOTAL	7507,89	6455,62	645,56

Tabla 9.- Caudal para cada uno de los circuitos de la instalación.

Finalmente, se deben calcular las pérdidas de carga de cada circuito (detallado en el apartado 5.4.4. de los anexos) para poder seleccionar una bomba que sea capaz de funcionar en la instalación.

Tras los cálculos anteriores, se llega a la conclusión que la bomba modelo “Wilo-Stratos PICO” de la marca “WILO” puede funcionar correctamente en esta instalación, por lo tanto será la bomba seleccionada.

1.7. ESTUDIO ECONÓMICO

Como se ha comentado anteriormente, el uso de energías renovables aumenta su rentabilidad económica a medida que mejora su eficiencia. Una de las causas de la rentabilidad de las energías renovables se debe al aumento del precio de las fuentes tradicionales de energía, al encontrarse en manos de pocos y concentrados productores, zonas conflictivas y a su cada vez mayor coste de extracción, tal vez debido al posible agotamiento de dichos recursos.

La principal contradicción ante la que se encuentra el cliente a la hora de ejecutar este tipo de instalaciones es el alto valor de la inversión inicial, muy superior a la necesaria para instalar un sistema tradicional como una caldera individual o colectiva. Este tipo de instalaciones son cada vez más fiables y requieren de un mantenimiento rutinario, llegando a funcionar sin problemas a lo largo de 20 años.

1.7.1. Presupuesto

Conocido el diseño de la instalación, es posible realizar un presupuesto orientativo. A continuación se puede ver el coste final del diseño y montaje de la instalación (en el las mediciones):

PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL	
COSTES DIRECTOS (€)	
Subsistema de captación	3965,47
Subsistema de apoyo a ACS y calefacción	273
Subsistema de distribución de calefacción	3622,80
Nuevos elementos para el suelo	922,9
COSTES INDIRECTOS (€)	
Instalación y puesta en marcha	878,42
Ingeniería y legalización	439,21
Obras en la vivienda	1200
TOTAL	
8.723,92 euros	

Tabla 10.- Precio de ejecución material de la instalación

1.7.2. Periodo de amortización

Se van a realizar el cálculo de tres periodos de amortización. Inicialmente, se calculará el retorno de la instalación solar. Posteriormente, de la instalación radiante y, finalmente, de ambas en conjunto.

1.7.2.1. Periodo de amortización de la instalación solar

El periodo de amortización es el tiempo que va a pasar hasta recuperar el gasto realizado.

Para ello, se han estudiado las facturas de gas natural del último año para hacer una estimación del gasto anual y del precio del gas (se va a realizar todo con un gasto medio anual).

A continuación se puede ver un desglose de las facturas del último año, con las diversas variables de precios en cada uno de los periodos:

Resumen facturas último año						
		Variable	Fijo	Impuesto	Alquiler	
Periodo	Consumo total (kWh)	Precio (€/kWh)	Precio (€/día)	Precio (€)	Precio (€)	Importe total (€)
21/05/2015 - 21/07/2015	159	0,04623	0,29063	0,37206	2,55	33,88
21/07/2015 - 21/09/2015	167	0,05040	0,29194	0,39078	2,51	35,24
21/09/2015 - 23/11/2015	693	0,04447	0,29063	1,62162	2,63	64,59
23/11/2015 - 20/01/2016	2549	0,04374	0,28356	5,96466	2,43	165,30
20/01/2016 - 15/03/2016	2136	0,04252	0,28426	4,99824	2,29	137,63
15/03/2016 - 20/05/2016	829	0,04118	0,28426	1,93986	2,74	69,67
ANUAL	6533	0,04476	0,28755	-	2,52	506,31

Tabla 11.- Resumen de las facturas del último año

Se debe tener en cuenta que, con la utilización del sistema solar, toda esta energía no va a ser la energía aportada por la caldera, por lo que el precio de la factura anual va a descender considerablemente.

Como se ha comentado anteriormente, el CTE establece que la instalación solar no puede cubrir el 100% de la demanda durante 3 meses consecutivos. Además, tampoco puede cubrir en ningún mes más del 110%. De esta forma, es necesario cubrir parcialmente los captadores para cumplir con el reglamento, por lo que durante estos

meses (de abril a septiembre, ambos incluidos), la fracción solar se establecerá en el 99%, dentro de los límites marcados por el CTE.

De esta forma, se puede saber cuánta energía será cubierta por los captadores solares y cuanta energía será cubierta por la caldera de gas natural:

Demanda de energía para ACS					
Mes	DE _{ACS} (MJ/mes)	DE _{ACS} (kWh/mes)	<i>f</i>	DE _{ACS} Solar (kWh/mes)	DE _{Gas natural} (kWh/mes)
Enero	594,78	165,35	0,42	69,45	95,9
Febrero	526,92	146,48	0,75	109,86	36,62
Marzo	560,57	155,84	0,98	152,72	3,12
Abril	536,09	149,03	0,99	147,54	1,49
Mayo	519,75	144,49	0,99	143,05	1,44
Junio	480,91	133,69	0,99	132,36	1,33
Julio	462,74	128,64	0,99	127,36	1,28
Agosto	474,14	131,81	0,99	130,49	1,32
Septiembre	469,88	130,63	0,99	129,32	1,31
Octubre	526,36	146,33	0,88	128,77	17,56
Noviembre	553,53	153,88	0,56	86,17	67,71
Diciembre	594,78	165,35	0,33	54,57	110,78
ANUAL	6300,45	1751,53		1411,65	339,88

Tabla 12.- Determinación de la energía para ACS cubierta

Se puede observar que el captador solar hace disminuir la energía aportada por la caldera de gas natural, lo que produce un ahorro económico a lo largo del año.

Para calcular el tiempo que se tardará en amortizar la instalación se debe calcular el ahorro anual. Para ello se multiplicará la energía que cubre el captador solar por el precio medio del gas natural durante el último año:

$$\text{Ahorro solar} = \text{precio} \cdot DE_{\text{Captador}} = 0,04476 \cdot 1411,65 = 63,18 \text{ €/año}$$

Una vez conocido el ahorro anual producido por la instalación, se puede aplicar un método de evaluación de inversiones. En este caso, se utilizará el Valor Actual Neto (VAN). Para ello, utilizaremos la siguiente ecuación:

$$VAN = -I_0 + \sum_n \frac{B_n}{(1+i)^n} = -I_0 + \frac{B_n}{(1+i)^1} + \frac{B_n}{(1+i)^2} + \frac{B_n}{(1+i)^3} + \dots$$

Dónde:

I_0 , es el valor inicial de la inversión (1900 € de costes directos y 285 € de costes indirectos)

B_n , es el ahorro anual

i , es la tasa de rentabilidad de la inversión (se considera 2,5%)

n , es el número de años previstos para la amortización

Para que la inversión sea rentable, el valor del VAN debe ser positivo, es decir, para conocer el número de años que se necesitan para amortizar la inversión bastaría con igualar el VAN a cero y despejar n . Como no se puede despejar n , el cálculo se realizará de manera iterativa hasta que la expresión utilizada sea cero o positiva.

Realizando este cálculo, se encuentra que el periodo de amortización de esta instalación es de 35 años.

1.7.2.2. Periodo de amortización de la instalación de suelo radiante

La instalación de suelo radiante también va a producir un ahorro en energía, ya que, al circular el agua a menor temperatura, no es tanta la demanda para alcanzar la temperatura como un sistema convencional:

Mes	DE _{CAL} convencional (kWh/mes)	DE _{CAL} radiante (kWh/mes)
Enero	1324,12	926,89
Febrero	1275,08	892,56
Marzo	490,41	343,29
Abril	0,00	0,00
Mayo	0,00	0,00
Junio	0,00	0,00
Julio	0,00	0,00
Agosto	0,00	0,00
Septiembre	0,00	0,00
Octubre	0,00	0,00
Noviembre	490,42	343,29
Diciembre	1324,12	926,89
ANUAL	4904,15	3432,91

Tabla 13.- Demanda energética de calefacción

Esta demanda viene cubierta, en su totalidad, por la caldera de gas natural. La diferencia entre el consumo de un sistema convencional por radiadores y un sistema por suelo radiante es de 1471,24 kWh/año. De esta forma, se puede calcular el ahorro anual en gas natural de la misma forma que se ha hecho con el ACS:

$$Ahorro = precio \cdot diferencia = 0,04476 \cdot 1471,24 = 65,85 \text{ €/año}$$

De la misma forma que antes, se utiliza el VAN para calcular el periodo de retorno de la instalación de suelo radiante.

$$VAN = -I_0 + \sum_n \frac{B_n}{(1+i)^n} = -I_0 + \frac{B_n}{(1+i)^1} + \frac{B_n}{(1+i)^2} + \frac{B_n}{(1+i)^3} + \dots$$

En este caso, la inversión es mayor, de 4641,7 € de gastos directos y 696,25 € de costes indirectos. De este modo, y utilizando este método, el periodo de retorno de la instalación se sitúa en 61 años.

1.7.2.3. Periodo de amortización de toda la instalación

Conocidos los ahorros y el periodo de retorno de la instalación por separado, es el momento de calcularlo todo junto.

Para calcular este ahorro, se debe calcular el precio anual que se pagará en cuanto a gas natural y compararlo con el precio pagado el pasado año:

Cálculo del precio anual en gas natural										
			TÉRMINO GAS		TÉRMINO FIJO		IMPUESTO HC	ALQUILER	TOTAL (s/ IVA)	TOTAL
PERIODO	DÍAS	CONSUMO TOTAL (kWh)	Precio (€/kWh)	Precio (€)	Precio (€/día)	Precio (€)	Precio (€)	Precio (€)	Precio (€)	Precio (€)
ANUAL	365	3772,79	0,044756171	168,86	0,28754804	104,96	8,83	15,15	297,79	360,32

Tabla 14.- Cálculo del precio a pagar en gas natural

Por lo tanto, el ahorro total anual de la instalación es:

$$Ahorro \text{ total} = \text{Precio año anterior} - \text{Precio gas natural}$$

$$Ahorro \text{ total} = 506,31 - 360,32 = \mathbf{145,68 \text{ €/año}}$$

El ahorro anual es muy poco, por lo que la instalación va a necesitar muchísimos años para ser amortizada. Teniendo en cuenta que la inversión inicial ha sido de 8.723,72 euros, realizando de nuevo el cálculo con la ecuación del VAN, el periodo de retorno se sitúa en los 60 años.

1.8. CONCLUSIONES

La conclusión general de este proyecto es clara. Esta instalación tardará demasiados años en amortizarse, por lo que tal vez no sea la mejor idea llevarla a cabo.

La principal razón por la que se van a tardar tantos años en amortizarse es, por un lado, porque se deben realizar toda una serie de actuaciones previas antes de realizar el montaje, como levantar el suelo, extraer los radiadores, etc. Por otro lado, al tratarse tan solo de una vivienda, la instalación debe pagarse exclusivamente por los ocupantes de esta vivienda. En el caso de que esta instalación se decidiera implementar para todo el bloque de pisos, evidentemente el precio de esta aumentaría pero al dividirse su coste entre todas las viviendas el periodo de amortización no sería tan elevado.

Los actuales captadores han evolucionado de tal forma que, como se ha podido ver, uno solo de ellos es capaz de cubrir una grandísima parte de la demanda de ACS, haciendo que cada vez se sea menos dependiente de los combustibles fósiles. De esta forma, se puede decir que este tipo de instalaciones solares son una gran y muy interesante alternativa a las energías convencionales y una gran opción para viviendas de nueva construcción.

Respecto al sistema de calefacción por suelo radiante han quedado claras varias cosas. La primera de ellas, como ya se ha comentado, es que, a no ser que la vivienda sea de nueva construcción, es muy difícil y costoso implementar este tipo de instalaciones, ya que las actuaciones previas son bastante importantes. La otra conclusión, mucho más positiva, es respecto al ahorro energético producido con esta instalación. La energía requerida para este sistema es un 30% menor que la requerida para un sistema convencional de calefacción por radiadores de convección, ya que la temperatura a la que se debe calentar el fluido es muy inferior.

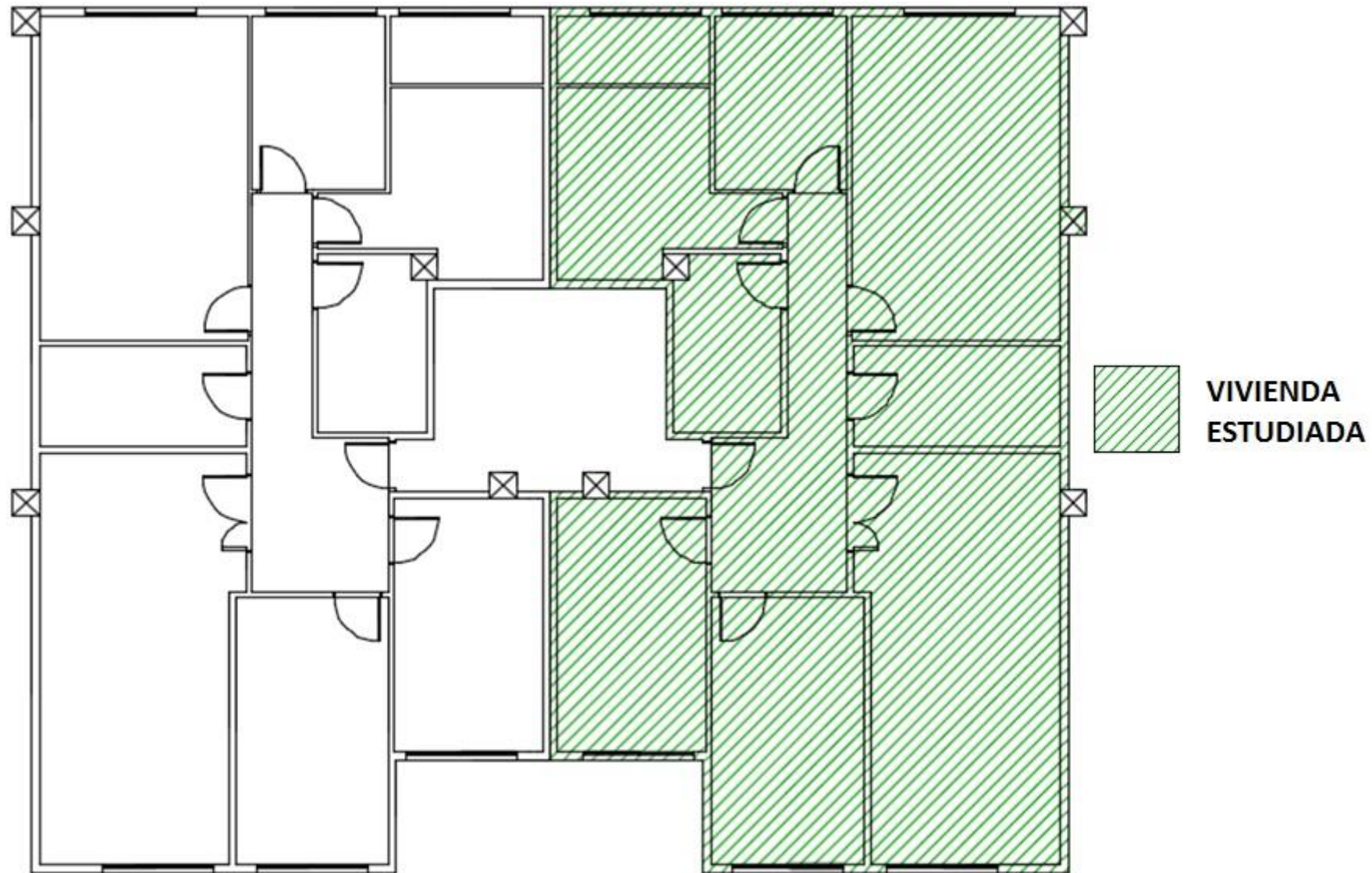


UNIVERSITAT DE LLEIDA
ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO FINAL DE GRADO

**PROYECTO PARA LA INSTALACIÓN DE
CAPTADORES SOLARES Y SUELO RADIANTE EN UN
PISO**

DOCUMENTO Nº 2: PLANOS



PROYECTO: PROYECTO PARA LA INSTALACION DE CALEFACCION RADIANTE
Y CAPTADORES SOLARES PARA ACS

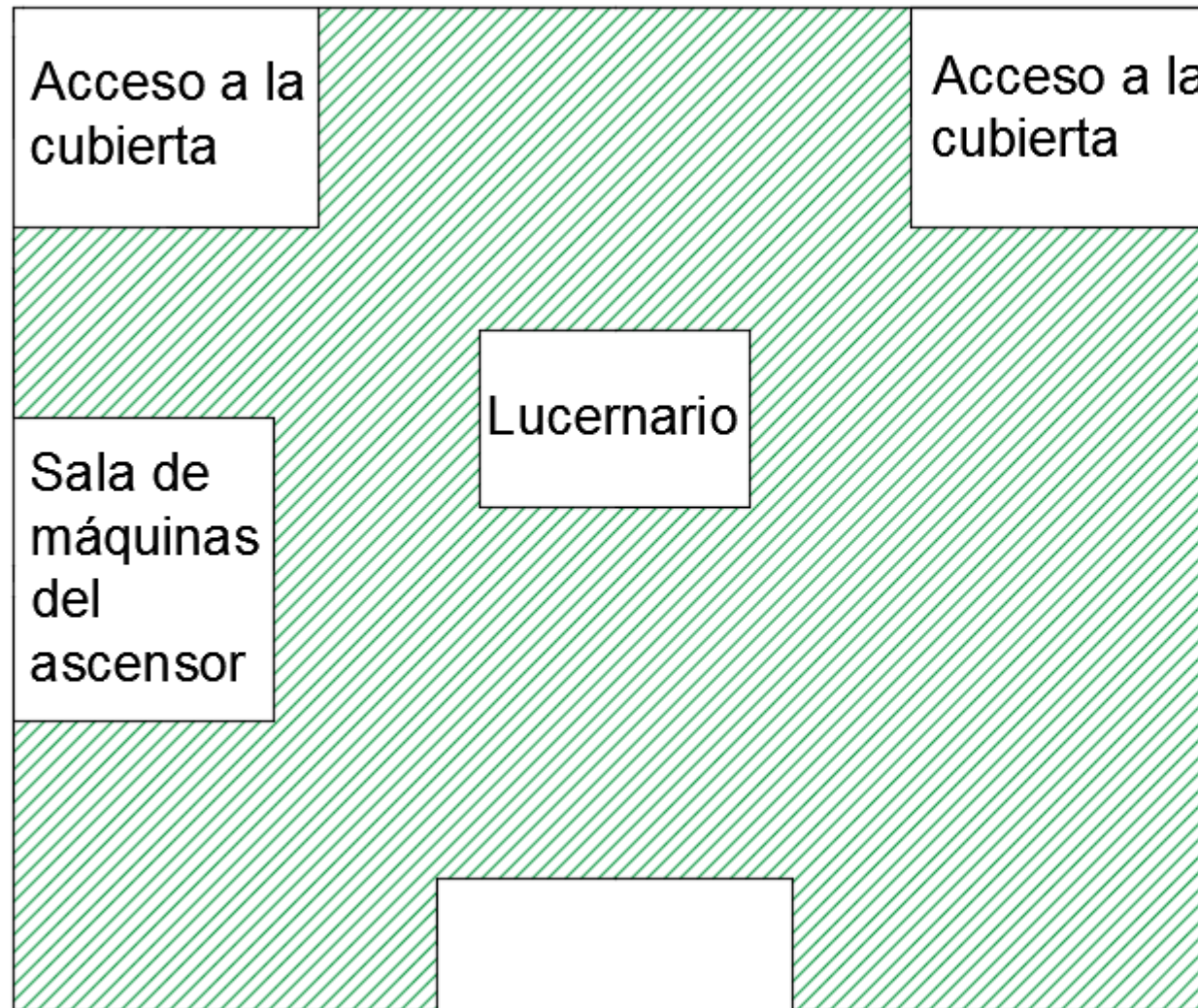
Plano: PLANO DE LA PLANTA


Promotor: UNIVERSITAT DE LLEIDA

Autor: DAVID AMELLA IGLESIAS

Fecha: 21/06/2016

Nº: 02/07



 Zona común

PROYECTO: PROYECTO PARA LA INSTALACION DE CALEFACCIÓN RADIANTE
Y CAPTADORES SOLARES PARA ACS

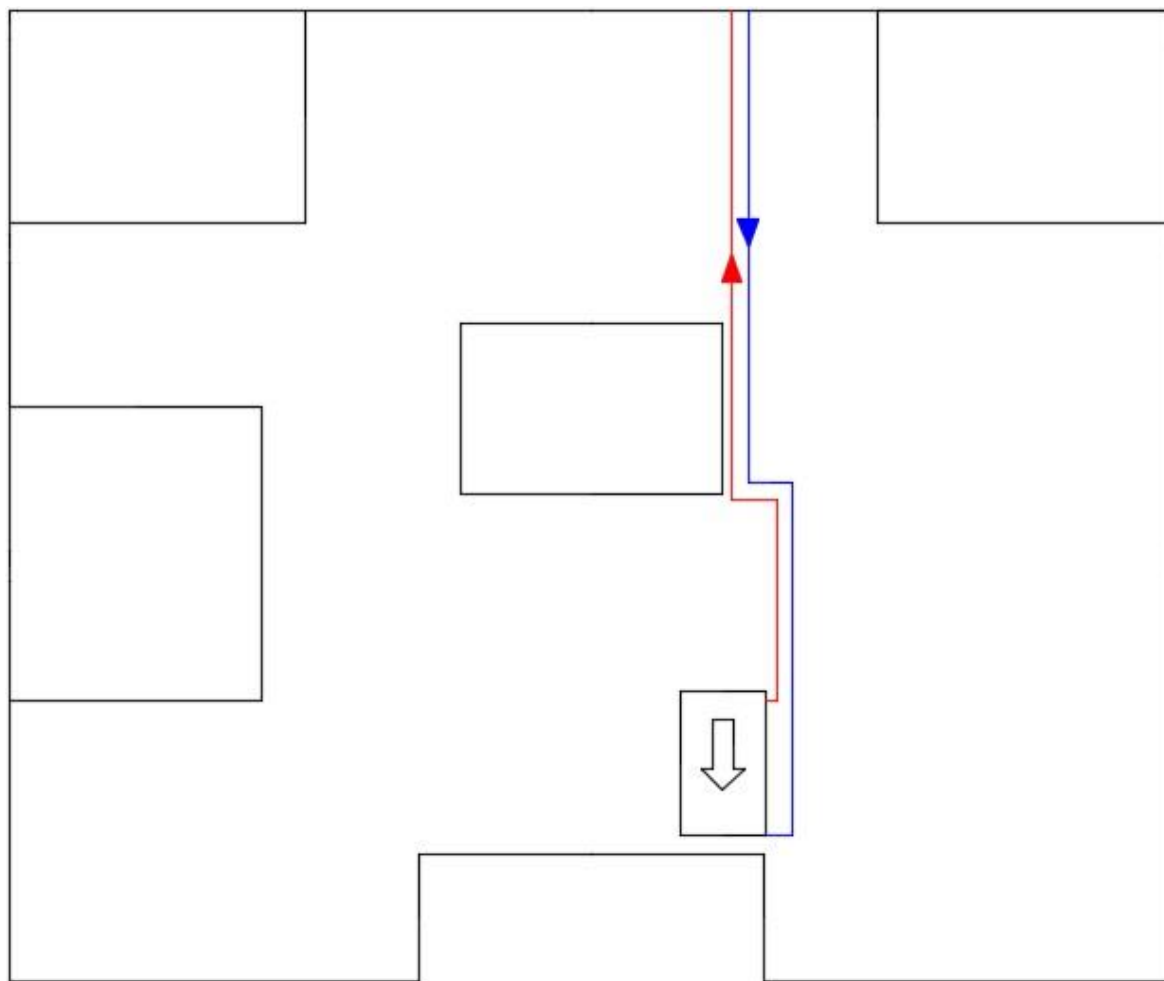
Plano: PLANO DE LA CUBIERTA

Promotor: UNIVERSITAT DE LLEIDA

Autor: DAVID AMELLA IGLESIAS

Fecha: 21/06/2016

Nº: 03/07



LEYENDA INSTALACIÓN	
	TUBERÍA DE AGUA CALIENTE (RETORNO)
	TUBERÍA DE AGUA FRÍA (IMPULSIÓN)
	CAPTADOR SOLAR

PROYECTO: PROYECTO PARA LA INSTALACION DE CALEFACCIÓN RADIANTE
Y CAPTADORES SOLARES PARA ACS

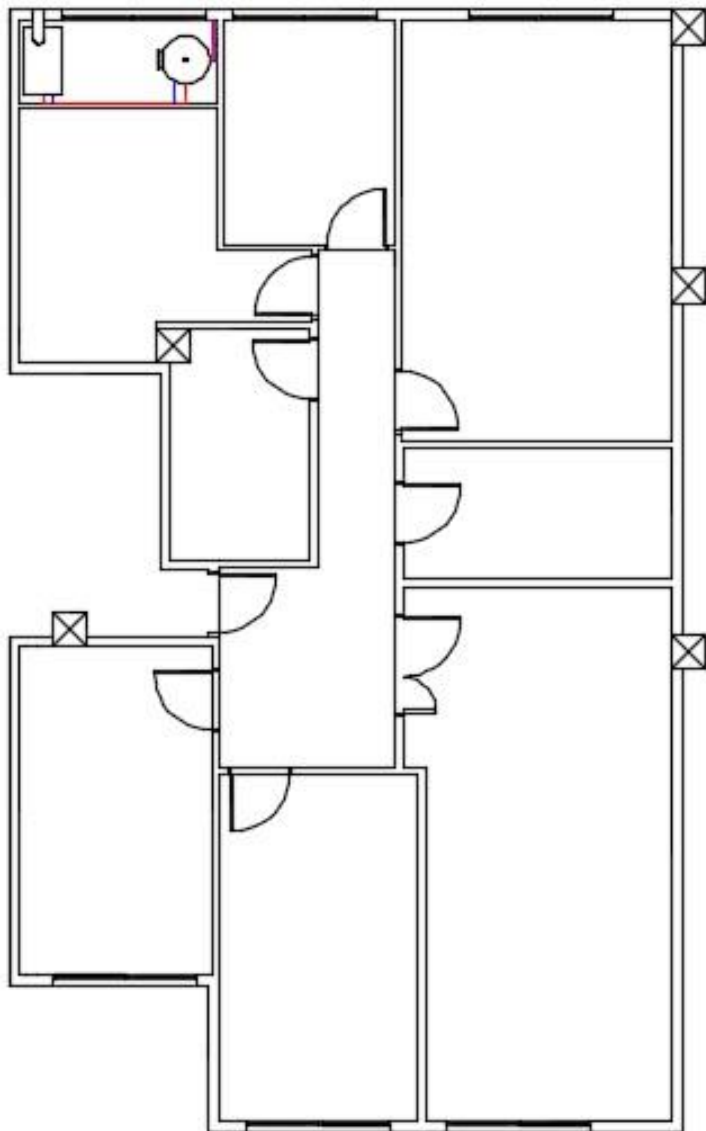
Plano: DISTRIBUCIÓN DEL CAPTADOR Y LAS TUBERÍAS EN LA CUBIERTA





Promotor: UNIVERSITAT DE LLEIDA

Autor: DAVID AMELLA IGLESIAS

Fecha: 21/06/2016

Nº: 04/07



LEYENDA INSTALACIÓN SOLAR PARA A.C.S.	
	TUBERÍA DE AGUA CALIENTE
	TUBERÍA DE AGUA FRÍA
	DEPÓSITO DE ACUMULACIÓN
	CALDERA MURAL DE GAS NATURAL

PROYECTO: PROYECTO PARA LA INSTALACION DE CALEFACCIÓN RADIANTE Y CAPTADORES SOLARES PARA ACS

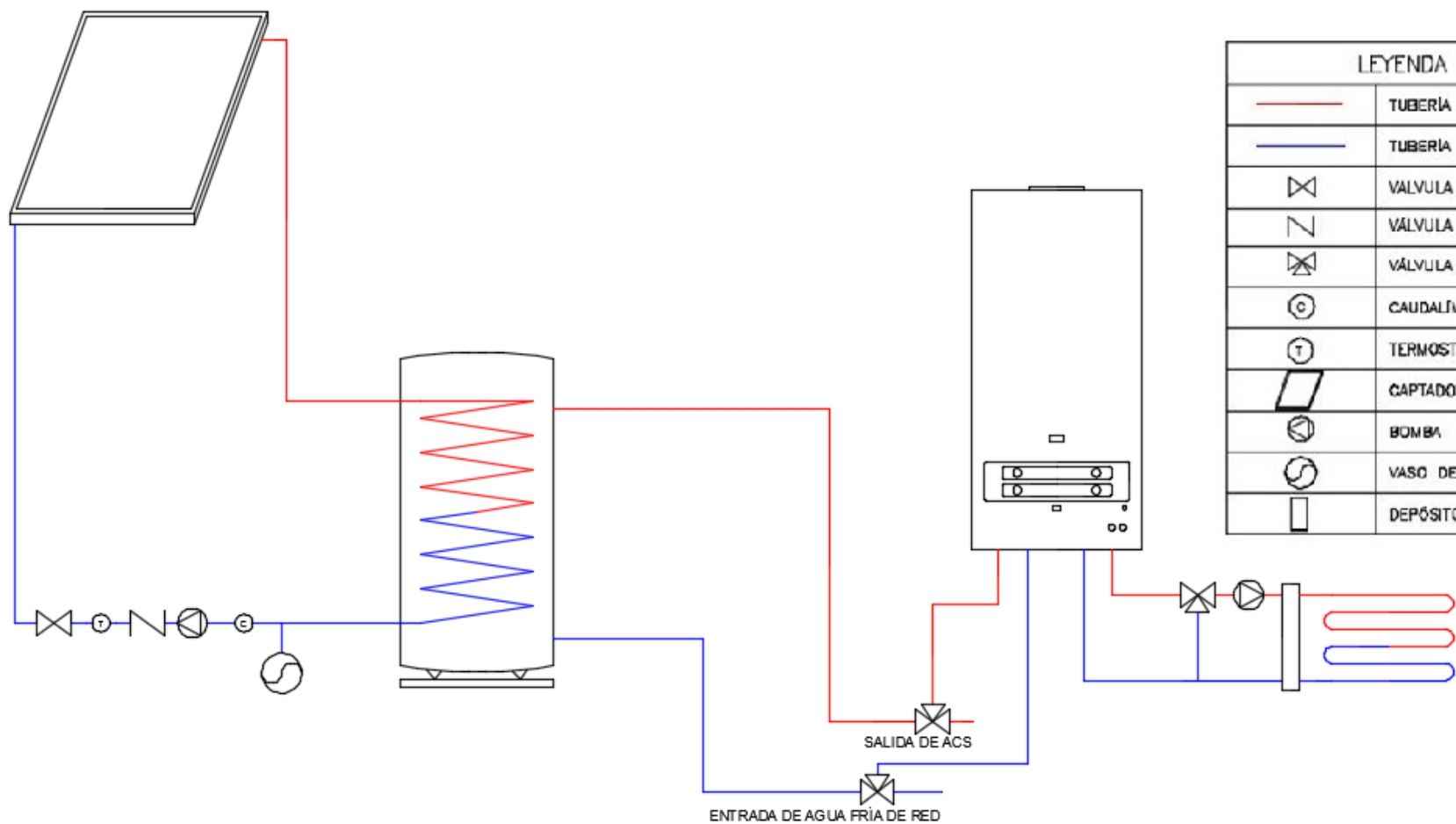
Plano: SITUACIÓN DEL DEPÓSITO Y EL SISTEMA AUXILIAR EN LA VIVIENDA

Promotor: UNIVERSITAT DE LLEIDA

Autor: DAVID AMELLA IGLESIAS

Fecha: 21/06/2016

Nº: 05/07



LEYENDA INSTALACIÓN	
—	TUBERÍA DE AGUA CALIENTE
—	TUBERÍA DE AGUA FRÍA
	VALVULA DE CORTE
	VALVULA ANTIRETORNO
	VÁLVULA MEZCLADORA
	CAUDALÍMETRO
	TERMOSTATO
	CAPTADOR SOLAR
	BOMBA
	VASO DE EXPANSIÓN
	DEPÓSITO ACUMULADOR

PROYECTO: PROYECTO PARA LA INSTALACION DE CALEFACCIÓN RADIANTE Y CAPTADORES SOLARES PARA ACS

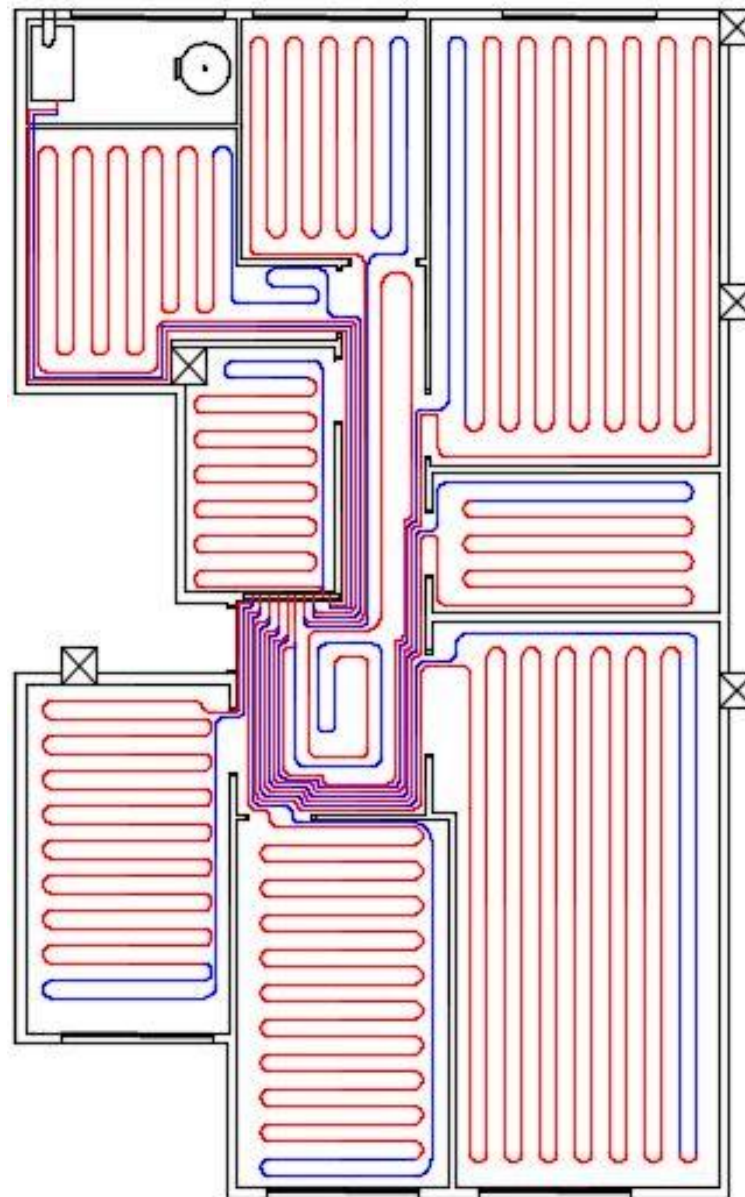
Plano: ESQUEMA DETALLADO DE LA INSTALACIÓN

Promotor: UNIVERSITAT DE LLEIDA

Autor: DAVID AMELLA IGLESIAS

Fecha: 21/06/2016

Nº: 06/07



PROYECTO: PROYECTO PARA LA INSTALACION DE CALEFACCION RADIANTE
Y CAPTADORES SOLARES PARA ACS

Plano: DISTRIBUCION DE LAS TUBERIAS DEL SUELO RADIANTE

Promotor: UNIVERSITAT DE LLEIDA

Autor: DAVID AMELLA IGLESIAS

Fecha: 21/06/2016

Nº: 07/07



UNIVERSITAT DE LLEIDA
ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO FINAL DE GRADO

**PROYECTO PARA LA INSTALACIÓN DE
CAPTADORES SOLARES Y SUELO RADIANTE EN UN
PISO**

DOCUMENTO Nº 3: PLIEGO DE CONDICIONES

3.1. OBJETO

El objeto del presente Pliego de Condiciones es servir de base a la realización de las obras que se describen en la Memoria, sus Anexos, Planos y Presupuesto de este proyecto, así como cuanto ordene la Dirección Facultativa.

Asimismo, se ajustará a este documento todo cuanto se refiera a las condiciones económicas, legales o facultativas que deban seguirse en la obra.

3.2. DISPOSICIONES GENERALES

3.2.1. Ámbito del presente pliego general de condiciones

El presente Pliego de Condiciones Generales tiene por finalidad regular la ejecución de todas las obras e instalaciones que integran el proyecto en el que se incluye, así como aquellas que estime convenientes su realización la Dirección Facultativa del mismo, estableciendo los niveles técnicos y de calidad exigibles, precisando aquellas actuaciones que correspondan según el contrato y con arreglo a la legislación aplicable, al Propietario de la obra, al Contratista o constructor de la misma, sus técnicos y encargados, al Ingeniero, así como las relaciones entre todos ellos y sus correspondientes obligaciones para el cumplimiento del contrato de obra.

El Contratista se atenderá en todo momento a lo expuesto en el mismo en cuanto a la calidad de los materiales empleados, ejecución, material de obra, precios, medición y abono de las distintas partes de obra. En referencia a la interpretación del mismo, en caso de oscuridad o divergencia, se atenderá a lo dispuesto por la Dirección Facultativa, y en todo caso a las estipulaciones y cláusulas establecidas por las partes contratantes.

3.2.2. Documentación del contrato

Los documentos que integran el contrato, relacionados por orden de importancia y preferencia, en cuanto al valor de sus especificaciones, en caso de omisión o de aparente contradicción, son los siguientes:

- 1) Las condiciones fijadas en el propio documento de contrato de empresa o de arrendamiento de obra, si existiera.
- 2) Memoria, anexos de cálculo, planos, mediciones, y presupuesto.

- 3) El presente Pliego de Condiciones Generales.
- 4) Los Pliegos de Condiciones Técnicas

Las órdenes e instrucciones de la Dirección facultativa de las obras se incorporan al proyecto como interpretación, complemento o precisión de sus determinaciones. En cada documento, las especificaciones literales prevalecen sobre las gráficas y en los planos, la cota prevalece sobre la medida a escala. Deberá incluir aquellas condiciones y delimitación de los campos de actuación de laboratorios y entidades de Control de Calidad acreditadas, si la obra así lo requiere.

3.2.3. Forma y dimensiones

La forma y dimensiones de las diferentes partes, así como los materiales a emplear, se ajustarán en todo momento a lo establecido y detallado en los planos, especificaciones y estados de las mediciones adjuntos al presente proyecto. Siempre cabrá la posibilidad de realizar modificaciones oportunas a pie de obra que podrán ser realizadas por el Ingeniero-Director.

3.2.4. Condiciones generales que deben cumplir los materiales y unidades de obra

Además de cumplir todas y cada una de las condiciones que se exponen en el presente Pliego de Condiciones Generales, los materiales y mano de obra deberán satisfacer las que se detallan en los Pliegos de Condiciones Técnicas elaborados por el Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Aragón.

3.2.5. Documentos de obra

En la oficina de obras, existirá en todo momento un ejemplar completo del proyecto, así como de todas las normas, leyes, decretos, resoluciones, órdenes, disposiciones legales y ordenanzas a que se hacen referencia en los distintos documentos que integran el presente proyecto.

3.2.6. Legislación social

El Contratista, estará obligado al exacto cumplimiento de toda legislación en materia de Reglamentación del Trabajo correspondiente, y de las demás disposiciones que regulan las relaciones entre patronos y obreros, los accidentes de trabajo, e incluso la contratación del seguro obligatorio, subsidio familiar y de vejez, seguro de enfermedad y todas aquéllas de carácter social en vigencia o que en lo sucesivo se apliquen.

3.2.7. Seguridad pública

El Contratista que resultara adjudicatario deberá tomar las máximas precauciones en todas las operaciones y uso de materiales, equipos, etc., con objeto de proteger a las

personas y animales de peligros procedentes del trabajo, siendo de su cuenta las responsabilidades derivadas de tales acciones u omisiones.

3.3. DEFINICIONES

En el contexto de este Pliego, se establecen las siguientes definiciones:

3.3.1. Propiedad o propietario

Se denominará como “Propiedad” o “Propietario” a la entidad, física o jurídica, pública o privada que, individual o colectivamente, impulsa, programa, financia y encarga, bien con recursos propios o ajenos, la redacción y ejecución las obras del presente proyecto.

3.3.2. Ingeniero – Director

Será aquella persona que, con acreditada titulación académica suficiente y plena de atribuciones profesionales según las disposiciones vigentes, reciba el encargo de la Propiedad de dirigir la ejecución de las obras, y en tal sentido, será el responsable de la Dirección Facultativa. Su misión será la dirección y vigilancia de los trabajos, bien por sí mismo o por sus representantes.

El Ingeniero-Director tendrá autoridad técnico-legal completa, incluso en lo no previsto específicamente en el presente Pliego de Condiciones Generales, pudiendo recusar al Contratista si considera que el adoptar esta resolución es útil y necesario para la buena marcha de la ejecución de los trabajos.

3.3.3. Dirección facultativa

Estará formada por el Ingeniero – Director y por aquellas personas tituladas o no, que al objeto de auxiliar al Ingeniero – Director en la realización de su cometido, ejerzan, siempre bajo las órdenes directas de éste, funciones de control y vigilancia, así como las específicas por él encomendadas.

3.3.4. Proveedor

Será aquella entidad o persona física o jurídica, que mediante el correspondiente contrato, realice la venta de alguno de los materiales y/o equipos comprendidos en el presente proyecto.

La misma denominación recibirá quien suministre algún material, pieza o elemento no incluido en el presente proyecto, cuando su adquisición haya sido considerada como necesaria por parte del Ingeniero-Director para el correcto desarrollo de los trabajos.

3.3.5. Contrata o contratista

Será aquella entidad o persona jurídica que reciba el encargo de ejecutar algunas de las unidades de obra que figuran en el presente proyecto, con los medios humanos y materiales suficientes, propios o ajenos, dentro del plazo acordado y con sujeción estricta al proyecto técnico que las define, al contrato firmado con la Propiedad, a las especificaciones realizadas por la Dirección Facultativa y a la legislación aplicable.

El Contratista, cuando sea necesaria su actuación o presencia según la contratación o lo establecido en el presente Pliego de Condiciones Generales, podrá ser representado por un Delegado previamente aceptado por parte de la Dirección Facultativa.

El Delegado del Contratista tendrá la titulación profesional mínima exigida por el Ingeniero-Director. Asimismo, éste podrá exigir también, si así lo estimase oportuno, que el Contratista designe además al personal facultativo necesario bajo la dependencia de su técnico Delegado. El incumplimiento de esta obligación o, en general, la falta de cualificación suficiente por parte del personal según la naturaleza de los trabajos, facultará al Ingeniero-Director para ordenar la paralización de las obras sin derecho a reclamación alguna, hasta que se subsane la deficiencia.

3.3.6. Coordinador de seguridad y salud

Será aquel personal técnico cualificado designado por el Contratista que velará por el estricto cumplimiento de las medidas precisas según normativa vigente contempladas en el Plan de Seguridad y Salud.

3.3.7. Entidades y laboratorios de control de calidad de la edificación

Las entidades de control de calidad de la edificación prestarán asistencia técnica en la verificación de la calidad del proyecto, de los materiales, de la ejecución de la obra y sus instalaciones de acuerdo con el proyecto y la normativa aplicable. Dicha asistencia

técnica se realiza mediante ensayos y/o pruebas de servicio de los materiales, sistemas o instalaciones de una obra.

3.4. PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS

3.4.1. Derechos y obligaciones de las distintas partes

3.4.1.1. Del ingeniero – Director

Es obligación del ingeniero – Director:

- 1) Redactar los complementos, rectificaciones y anexos técnicos del proyecto que se precisen.
- 2) Asistir a las obras, cuantas veces lo requiera su naturaleza y complejidad, a fin de resolver las eventualidades que se presenten e impartir las instrucciones complementarias que sean precisas para conseguir la correcta solución técnica.
- 3) Coordinar la intervención en obra de otros técnicos que, en su caso, concurran a la dirección con función propia en aspectos parciales de su especialidad.
- 4) Aprobar las certificaciones parciales de obra, la liquidación final y asesorar al promotor en el acto de la recepción.
- 5) Preparar la documentación final de la obra y expedir y suscribir, en unión del Aparejador o Arquitecto Técnico, el certificado final de la misma.

3.4.1.2. Del director de obra

Corresponde a un ingeniero industrial la dirección del montaje, que formando parte de la dirección facultativa, asume la función técnica de dirigir la ejecución material y de controlar cualitativa y cuantitativamente la construcción y la calidad de lo montado. Siendo sus funciones específicas:

- 1) Estar en posesión de la titulación académica y profesional habilitante de ingeniero técnico o superior, según corresponda, y cumplir las condiciones exigibles para el ejercicio de la profesión. En caso de personas jurídicas, designar al técnico redactor del proyecto que tenga la titulación profesional habilitante.
- 2) Redactar el documento de estudio y análisis del proyecto para elaborar los programas de organización y de desarrollo del proyecto.
- 3) Planificar, a la vista del proyecto de detalle, del contrato y de la normativa técnica de aplicación, el control de calidad y económico de la ejecución.

- 4) Redactar, cuando se requiera, el estudio de los sistemas adecuados a los riesgos del trabajo en la realización del montaje y aprobar el estudio de seguridad y salud para la aprobación del mismo.
- 5) En caso de ser necesario, efectuar los replanteos necesarios preparando el acta correspondiente, suscribiéndola en unión del ingeniero y del constructor.
- 6) Comprobar las instalaciones provisionales, medio auxiliares y medidas de seguridad y salud en el trabajo, controlando su correcta ejecución.
- 7) Realizar o disponer las pruebas y ensayos de materiales, instalaciones y demás unidades de obra según las frecuencias de muestreo programadas en el plan de control, así como efectuar las demás comprobaciones que resulten necesarias para asegurar la calidad constructiva de acuerdo con el proyecto y la normativa aplicable. De los resultados informará puntualmente al constructor, impartiendo, en su caso, las órdenes oportunas; de no resolverse la contingencia adoptará las medidas que corresponda, dando cuenta al ingeniero.
- 8) Verificar la recepción de los productos para el montaje, ordenando la realización de ensayos y pruebas precisas.
- 9) Dirigir la ejecución material, comprobando los replanteos, los materiales, la correcta ejecución y disposición de los elementos constructivos y de las instalaciones, de acuerdo con el proyecto.
- 10) Consignar en el libro de órdenes y asistencias las instrucciones precisas.
- 11) Suscribir el acta de replanteo, así como elaborar y suscribir las certificaciones parciales y la liquidación final de las unidades ejecutadas.
- 12) Colaborar con los restantes agente en la elaboración de la documentación del montaje ejecutado, aportando los resultados del control realizado.

3.4.1.3. Del constructor

Es obligación del constructor:

- 1) Ejecutar la obra con sujeción al proyecto, a la legislación aplicable y a las instrucciones del director de obra y del director de la ejecución de la obra, a fin de alcanzar la calidad exigida en el proyecto.

- 2) Tener la titulación o capacitación profesional que habilita para el cumplimiento de las condiciones exigibles para actuar como constructor.
- 3) Designar al jefe de obra que asumirá la representación técnica del constructor en la obra y que por su titulación o experiencia deberá tener la capacitación adecuada de acuerdo con las características y la complejidad de la obra.
- 4) Asignar a la obra los medios humanos y materiales que su importancia requiera.
- 5) Organizar los trabajos de construcción, redactando los planes de obra que se precisen y proyectando o autorizando las instalaciones provisionales y medios auxiliares de la obra.
- 6) Elaborar el plan de seguridad y salud de la obra en aplicación del estudio correspondiente, y disponer, en todo caso, la ejecución de las medidas preventivas, velando por su cumplimiento y por la observancia de la normativa vigente en materia de seguridad y salud en el trabajo.
- 7) Atender las indicaciones y cumplir las instrucciones del coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra, y en su caso de la dirección facultativa.
- 8) Formalizar las subcontrataciones de determinadas partes o instalaciones de la obra dentro de los límites establecidos en el contrato.
- 9) Firmar el acta de replanteo o de comienzo y el acta de recepción de la obra.
- 10) Ordenar y dirigir la ejecución material con arreglo al proyecto, a las normas técnicas y a las reglas de la buena construcción. A tal efecto, ostenta la jefatura de todo el personal que intervenga en la obra y coordina las intervenciones de los subcontratistas.
- 11) Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los materiales y elementos constructivos que se utilicen, comprobando los preparados en obra y rechazando, por iniciativa propia o por prescripción del aparejador o arquitecto técnico, los suministros o prefabricados que no cuenten con las garantías o documentos de idoneidad requeridos por las normas de aplicación.
- 12) Custodiar los libros de órdenes y seguimiento de la obra, así como los de seguridad y salud y el del control de calidad, éstos si los hubiere, y dar el enterado a las anotaciones que en ellos se practiquen.

- 13) Facilitar al aparejador o arquitecto técnico con antelación suficiente, los materiales precisos para el cumplimiento de su cometido.
- 14) Preparar las certificaciones parciales de obra y la propuesta de liquidación final.
- 15) Suscribir con el promotor las actas de recepción provisional y definitiva.
- 16) Concertar los seguros de accidentes de trabajo y de daños a terceros durante la obra.
- 17) Facilitar al director de obra los datos necesarios para la elaboración de la documentación de la obra ejecutada.
- 18) Facilitar el acceso a la obra a los laboratorios y entidades de control de calidad contratados y debidamente homologados para el cometido de sus funciones.

3.4.1.4. Del coordinador de seguridad y salud

El coordinador en materia de seguridad y salud deberá cumplir las siguientes funciones:

- 1) Coordinar la aplicación de los principios generales de prevención y de seguridad.
- 2) Coordinar las actividades de la obra para garantizar que los contratistas y, en su caso, los subcontratistas y los trabajadores autónomos apliquen de manera coherente y responsable los principios de la acción preventiva que se recogen en el artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales durante la ejecución de la obra.
- 3) Aprobar el plan de seguridad y salud elaborado por el contratista y, en su caso, las modificaciones introducidas en el mismo.
- 4) Coordinar las acciones y funciones de control de la aplicación correcta de los métodos de trabajo.
- 5) Adoptar las medidas necesarias para que sólo las personas autorizadas puedan acceder a la obra. La dirección facultativa asumirá esta función cuando no fuera necesaria la designación de coordinador.

3.4.1.5. De los proveedores

Es obligación de los proveedores:

- 1) Tener la titulación o capacidad profesional que habilita por el cumplimiento de las condiciones exigibles para actuar como proveedor.
- 2) Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los materiales que suministren.

- 3) Proporcionar las garantías o documentos de idoneidad requeridos por las normas de aplicación
- 4) Realizar los ensayos y pruebas pertinentes a todos y cada uno de los materiales, moldes, piezas y herramientas proporcionadas.
- 5) Ajustarse a los plazos de entrega estipulados, asumiendo todos los gastos en caso contrario.
- 6) Garantizar la sujeción de los resultados a los planos proporcionados por el proyectista, asegurando así mismo las tolerancias de calidad exigidas.

3.5. PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS

La finalidad es regular las relaciones económicas entre el contratista, los proveedores, los subcontratados y los clientes.

Todos los que intervienen en el proceso de construcción y proyección tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación, con arreglo a las condiciones contractualmente establecidas.

El constructor y, en su caso, los técnicos pueden exigirse recíprocamente las garantías adecuadas al cumplimiento puntual de sus obligaciones de pago.

3.5.1. Precios y revisión de precios

3.5.1.1. Composición de los precios unitarios

El cálculo de los precios de las distintas partes es el resultado de sumar los costes directos, los indirectos, los gastos generales y el beneficio industrial.

3.5.1.1.1. Costes directos

- La mano de obra, con sus pluses, cargas y seguro sociales, que interviene directamente en el proceso.
- Los materiales, a los precios resultantes, que queden integrados en el proceso de que se trate o que sean necesarios para su ejecución.
- Los equipos y sistemas técnicos de seguridad y salud para la prevención y protección de accidentes y enfermedades profesionales.

- Los gastos de personal, combustible, energía, etc., que tengan lugar por el accionamiento o funcionamiento de la maquinaria e instalaciones utilizadas en la ejecución de la unidad de obra.
- Los gastos de amortización y conservación de la maquinaria, instalaciones, sistemas y equipos anteriormente citados.

3.5.1.1.2. Costes indirectos

Los gastos de almacenes, talleres de fabricación y preparación de moldes, laboratorios, seguros, etc., los del personal técnico, proyectistas y los imprevistos. Todos estos gastos, se cifrarán en un porcentaje de los costes directos.

3.5.1.1.3. Precio de ejecución manual

Se denominará precio de ejecución material al resultado obtenido por la suma de los anteriores conceptos.

3.5.1.1.4. Precios contradictorios

Se producirán precios contradictorios sólo cuando por medio del ingeniero se decida introducir cambios de calidad en alguna de las previstas, o cuando sea necesario afrontar alguna circunstancia imprevista.

El constructor estará obligado a efectuar los cambios y hacerse cargo de ellos. A falta de acuerdo, el precio se resolverá contradictoriamente entre el ingeniero y el constructor antes de comenzar la ejecución de los trabajos y en el plazo que determine el pliego de condiciones particulares. Si subsiste la diferencia se acudirá, en primer lugar, al concepto más análogo dentro del cuadro de precios del proyecto, y en segundo lugar al banco de precios de uso más frecuente en la localidad.

Los contradictorios que hubiere se referirán siempre a los precios unitarios de la fecha del contrato.

3.5.2. Modos de pago

3.5.2.1. Valoración y abono de los trabajos

Los proveedores y las empresas encargadas del transporte recibirán por adelantado el 20% del abono total, el cual estará concertado previamente en el pliego de

condiciones o acordado entre proveedor y constructor. El valor del abono sólo se podrá ver modificado por penalizaciones causadas por incumplimientos en el plazo de entrega o por deficiencia de calidad del servicio otorgado.

Los empleados encargados del montaje, empaquetado y administración del producto recibirán la cifra estipulada mediante pago por vía bancaria y en un solo cobro realizado la última semana de cada mes.

3.5.2.2. Abono de trabajos especiales no contratados

Cuando fuese preciso efectuar otra clase de trabajos de cualquier índole especial u ordinaria, que por no estar contratados no sean de cuenta del constructor, y si no se contratasen con tercera persona, no tendrá el constructor la obligación de realizarlos y de satisfacer los gastos que estos ocasionen. En el caso que se haga cargo de estos gastos adicionales se le deberán ser restituidos en un plazo de 3 meses desde el momento que se produzca dicho pago.

3.5.2.3. Pago de arbitrios

El pago de impuestos y arbitrios en general, municipales o de otro origen correrá a cargo del constructor, siempre que en las condiciones particulares del proyecto no se estipule lo contrario.

3.5.3. Garantías, fianzas y avales

El constructor garantizará la instalación durante un período mínimo de 3 años, para todos los materiales utilizados y el procedimiento empleado en su montaje. Sin perjuicio de cualquier posible reclamación a terceros, la instalación será reparada de acuerdo con estas condiciones generales si ha sufrido una avería a causa de un defecto de montaje o de cualquiera de los componentes, siempre que haya sido manipulada correctamente de acuerdo con lo establecido en el procedimiento establecido.

La garantía se concede a favor del comprador de la instalación, lo que deberá justificarse debidamente mediante el correspondiente certificado de garantía, con la fecha que se acredite en la certificación de la instalación.

Si hubiera de interrumpirse la explotación del suministro debido a razones de las que es responsable el constructor, o a reparaciones que el constructor haya de realizar para cumplir las estipulaciones de la garantía, el plazo se prolongará por la duración total de dichas interrupciones.

La garantía comprende la reparación o reposición, en su caso, de los componentes y las piezas que pudieran resultar defectuosas, así como la mano de obra empleada en la reparación o reposición durante el plazo de vigencia de la garantía.

Quedan expresamente incluidos todos los demás gastos, tales como tiempos de desplazamiento, medios de transporte, amortización de vehículos y herramientas, disponibilidad de otros medios y eventuales portes de recogida y devolución de los equipos para su reparación en los talleres del fabricante.

Asimismo se deben incluir la mano de obra y materiales necesarios para efectuar los ajustes y eventuales reglajes del funcionamiento de la instalación. Si en un plazo razonable, el constructor incumple las obligaciones derivadas de la garantía, el comprador de la instalación podrá, previa notificación escrita, fijar una fecha final para que dicho constructor cumpla con las mismas. Si el constructor no cumple con sus obligaciones en dicho plazo último, el comprador de la instalación podrá, por cuenta y riesgo del constructor, realizar por sí mismo o contratar a un tercero para realizar las oportunas reparaciones, sin perjuicio de la ejecución del aval prestado y de la reclamación por daños y perjuicios en que hubiere incurrido el constructor.

La garantía podrá anularse cuando la instalación haya sido reparada, modificada o desmontada, aunque sólo sea en parte, por personas ajenas al constructor o a los servicios de asistencia técnica de los fabricantes no autorizados expresamente por el constructor.

Cuando el usuario detecte un defecto de funcionamiento en la instalación, lo comunicará fehacientemente al constructor. Cuando el constructor considere que es un defecto de fabricación de algún componente lo comunicará fehacientemente al fabricante.

3.5.4. Penalizaciones

3.5.4.1. Penalizaciones por baja calidad

Si se advirtiese que los materiales, servicios o productos adquiridos no cumplen con los requisitos de calidad estipulados el constructor queda exento del pago de la actividad realizada o de los elementos obtenidos. En el caso concreto de adquisición de piezas, si se detecta más de un 2% de piezas defectuosas el proveedor será sancionado con una multa de 10.000 euros, que serán abonados en un plazo máximo de 6 meses.

3.5.4.2. Desperfectos en la propiedad

Si el constructor causara algún desperfecto en la propiedad, tendrá que restaurarla a su cuenta, dejándola en el estado que las encontró al dar comienzo las obras de la instalación.

3.5.4.3. Replanteos

Todas las operaciones y medios auxiliares que se necesite para los replanteos serán de cuenta del contratista, no teniendo por este concepto derecho a indemnización de ninguna clase. El contratista será responsable de los errores que resulten de los replanteos con relación a los planos acotados que el director de la obra facilite a su debido tiempo.

3.6. PLIEGO DE CONDICIONES LEGALES

3.6.1. Responsabilidad y seguridad laboral

La totalidad de las empresas subcontratadas deberá nombrar y certificar a una persona responsable de la seguridad en la realización y construcción de este proyecto.

Toda persona que trabaje para éste queda sujeto a:

- 1) La responsabilidad civil será exigible en forma personal e individualizada, tanto por actos u omisiones propios, como por actos u omisiones de personas por las que se deba responder.
- 2) Cuando pudiera individualizarse la causa de los daños materiales o quedase debidamente probada la concurrencia de culpas sin que pudiera precisarse el grado de intervención de cada agente en el daño producido, la responsabilidad se exigirá solidariamente.

- 3) Cuando el proyecto haya sido contratado conjuntamente con más de un proyectista, los mismos responderán solidariamente.
- 4) Los proyectistas que contraten los cálculos, estudios, dictámenes o informes de otros profesionales, serán directamente responsables de los daños que puedan derivarse de su insuficiencia, incorrección o inexactitud, sin perjuicio de la repetición que pudieran ejercer contra sus autores.
- 5) Cuando el director facultativo subcontrate con otras personas físicas o jurídicas la ejecución de determinadas partes o instalaciones, será directamente responsable de los daños materiales por vicios o defectos de su ejecución, sin perjuicio de la repetición a que hubiere lugar.
- 6) Quien acepte la dirección cuyo proyecto no haya elaborado él mismo, asumirá las responsabilidades derivadas de las omisiones, deficiencias o imperfecciones del proyecto, sin perjuicio de la repetición que pudiere corresponderle frente al proyectista.

3.6.1.1. Capacidad para contratar

- 1) Podrán contratar las personas naturales o jurídicas, españolas o extranjeras que, teniendo plena capacidad de obrar, no se hallen privadas por parte del Estado ni tengan faltas pendientes con la justicia.
- 2) Las empresas deberán ser personas físicas o jurídicas cuya finalidad o actividad tenga relación directa con el objeto del contrato, según resulte de sus respectivos estatutos o reglas fundacionales y dispongan de una organización con elementos personales y materiales suficientes para la debida ejecución del contrato.
- 3) Las empresas no españolas de Estados miembros de la Unión Europea deberán acreditar su capacidad de obrar mediante certificación de inscripción.
- 4) Las restantes empresas extranjeras deberán acreditar su capacidad de obrar mediante informe expedido por la Misión Diplomática Permanente u Oficina Consular de España del lugar del domicilio de la empresa, en la que se haga constar, previa acreditación por la empresa, que figuran inscritas en el Registro local profesional o comercial.

Además de los requisitos reseñados, los licitadores deberán acreditar su solvencia económica, financiera y técnica a través de los medios que se reseñan a continuación:

Económica y financiera:

- 1) Cuentas anuales presentadas en el Registro Mercantil o en el Registro oficial que corresponda. Los empresarios no obligados a presentar las cuentas en Registros oficiales podrán aportar, como medio alternativo de acreditación, los libros de contabilidad debidamente legalizados.
- 2) Declaración sobre el volumen global de negocios y, en su caso, sobre el volumen de negocios en el ámbito de actividades correspondiente al objeto del contrato, referido como máximo a los tres últimos ejercicios disponibles en función de la fecha de creación o de inicio de las actividades del empresario, en la medida en que se disponga de las referencias de dicho volumen de negocios.
- 3) Si, por una razón justificada, el empresario no está en condiciones de presentar las referencias solicitadas, se le autorizará a acreditar su solvencia económica y financiera por medio de cualquier otro documento que se considere apropiado por el órgano de contratación.
- 4) Los empresarios que sean personas naturales deberán aportar, asimismo, copia o fotocopia legalizada de la Declaración del Impuesto sobre la Renta de las Personas Físicas de los dos últimos ejercicios presentados.

Técnica (por uno de los siguientes medios):

- 1) Relación de los principales suministros efectuados durante los tres últimos años, indicando su importe, fechas y destinatario público o privado de los mismos. Los suministros efectuados se acreditarán mediante certificados expedidos o visados por el órgano competente, cuando el destinatario sea una entidad del sector público o cuando el destinatario sea un comprador privado, mediante un certificado expedido por éste o, a falta de este certificado, mediante una declaración del empresario.
- 2) Indicación del personal técnico o unidades técnicas, integradas o no en la empresa, de los que se disponga para la ejecución del contrato, especialmente los encargados del control de calidad.
- 3) Descripción de las instalaciones técnicas, de las medidas empleadas para garantizar la calidad y de los medios de estudio e investigación de la empresa.

- 4) Control efectuado por la entidad del sector público contratante o, en su nombre, por un organismo oficial competente del Estado en el cual el empresario está establecido, siempre que medie acuerdo de dicho organismo, cuando los productos a suministrar sean complejos o cuando, excepcionalmente, deban responder a un fin particular. Este control versará sobre la capacidad de producción del empresario y, si fuera necesario, sobre los medios de estudio e investigación con que cuenta, así como sobre las medidas empleadas para controlar la calidad.
- 5) Muestras, descripciones y fotografías de los productos a suministrar, cuya autenticidad pueda certificarse a petición de la entidad del sector público contratante.
- 6) Certificados expedidos por los institutos o servicios oficiales encargados del control de calidad, de competencia reconocida, que acrediten la conformidad de productos perfectamente detallada mediante referencias a determinadas.

3.7. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

3.7.1. Objeto

El pliego de condiciones técnicas tiene por objeto determinar las calidades y características de los elementos que se utilizarán en el desmantelamiento de la instalación actual y en el montaje de la nueva.

En todo lo aquí no señalado regirá el Pliego de Condiciones general que figura en el proyecto de obra.

El Director de Obra deberá eliminar cualquier elemento que no cumpla con la presente especificación, tanto en lo referente a los materiales, como en normativa.

3.7.2. Disposiciones preliminares

A la instalación recogida bajo este documento le son de aplicación el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE), y sus Instrucciones Técnicas (IT), junto con la serie de normas UNE sobre energía solar térmica listadas en el Anexo I, así como lo dispuesto en el Código Técnico de la Edificación (CTE) sobre energía solar térmica.

3.7.3. Requisitos generales

3.7.3.1. Fluido de trabajo

Como fluido de trabajo en el circuito primario se utilizará agua de la red, o agua desmineralizada, o agua con aditivos, según las características climatológicas del lugar y del agua utilizada. Los aditivos más usuales son los anticongelantes, aunque en ocasiones se puedan utilizar aditivos anticorrosivos.

La utilización de otros fluidos térmicos requerirá incluir su composición y calor específico en la documentación del sistema y la certificación favorable de un laboratorio acreditado.

En cualquier caso el pH a 20 °C del fluido de trabajo estará comprendido entre 5 y 9, y el contenido en sales se ajustará a los señalados en los puntos siguientes:

- 1) La salinidad del agua del circuito primario no excederá de 500 mg/l totales de sales solubles. En el caso de no disponer de este valor se tomará el de conductividad como variable limitante, no sobrepasando los 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- 2) El contenido en sales de calcio no excederá de 200 mg/l. expresados como contenido en carbonato cálcico.
- 3) El límite de dióxido de carbono libre contenido en el agua no excederá de 50 mg/l.

El diseño de los circuitos evitará cualquier tipo de mezcla de los distintos fluidos que pueden operar en la instalación. En particular, se prestará especial atención a una eventual contaminación del agua potable por el fluido del circuito primario.

3.7.3.2. Protección contra heladas

El fabricante, suministrador final, instalador o diseñador del sistema deberá fijar la mínima temperatura permitida en el sistema. Todas las partes del sistema que estén expuestas al exterior deberán ser capaces de soportar la temperatura especificada sin daños permanentes en el sistema.

Cualquier componente que vaya a ser instalado en el interior de un recinto donde la temperatura pueda caer por debajo de los 0 °C, deberá estar protegido contra heladas.

El fabricante deberá describir el método de protección anti-heladas usado por el sistema. A los efectos de este documento, como sistemas de protección anti-heladas podrán utilizarse:

- 1) Mezclas anticongelantes.
- 2) Recirculación de agua en los circuitos.
- 3) Drenaje automático con recuperación de fluido.
- 4) Drenaje al exterior (sólo para sistemas solares prefabricados).

Como anticongelantes podrán utilizarse los productos, solos o mezclados con agua, que cumplan la reglamentación vigente y cuyo punto de congelación sea inferior a 0°C.

Se deberán tomar precauciones para prevenir posibles deterioros del fluido anticongelante como resultado de condiciones altas de temperatura. Estas precauciones deberán de ser comprobadas de acuerdo con UNE-EN 12976-2.

La instalación dispondrá de los sistemas necesarios para facilitar el llenado de la misma y para asegurar que el anticongelante está perfectamente mezclado.

Es conveniente que se disponga de un depósito auxiliar para reponer las pérdidas que se puedan dar del fluido en el circuito, de forma que nunca se utilice un fluido para la reposición cuyas características incumplan el Pliego. Será obligatorio en los casos de riesgos de heladas y cuando el agua deba tratarse.

En cualquier caso, el sistema de llenado no permitirá las pérdidas de concentración producidas por fugas del circuito y resueltas con reposición de agua de red.

3.7.3.3. Sobrecalentamientos

El sistema deberá estar diseñado de tal forma que con altas radiaciones solares prolongadas sin consumo de agua caliente, no se produzcan situaciones en las cuales el usuario tenga que realizar alguna acción especial para llevar al sistema a su forma normal de operación.

3.7.3.4. Resistencia a presión

Se deberán cumplir los requisitos de la norma UNE-EN 12976-1.

En caso de sistemas de consumo abiertos con conexión a la red, se tendrá en cuenta la máxima presión de la misma para verificar que todos los componentes del circuito de consumo soportan dicha presión.

3.7.4. Clasificación de la instalación

En consideración con los diferentes objetivos atendidos por el Pliego de Condiciones Térmicas de Baja Temperatura, se aplicarán los siguientes criterios de clasificación:

- Principio de circulación: circulación forzada
- Aplicación: Instalación para suministro de ACS y calefacción
- Sistema de transferencia de calor: Instalación con intercambiador de calor independiente
- Sistema de expansión: sistema cerrado
- Sistema de aporte de energía auxiliar: sistema de energía auxiliar en línea distribuido

3.7.5. Criterios generales de diseño

3.7.5.1. Dimensionado y cálculo

3.7.5.1.1. Datos de partida

Los datos de partida necesarios para el dimensionado y cálculo de la instalación están constituidos por dos grupos de parámetros que definen las condiciones de uso y climáticas.

Condiciones de uso

Las condiciones de uso vienen dadas por la demanda energética asociada a la instalación según los diferentes tipos de consumo. Para aplicaciones de ACS, la demanda energética se determina en función del consumo de agua caliente mientras que para aplicaciones de climatización (calefacción y refrigeración), la demanda energética viene dada por la carga térmica del habitáculo a climatizar, calculándose según lo especificado en el RITE.

Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas vienen dadas por la radiación global total en el campo de captación, la temperatura ambiente diaria y la temperatura del agua de la red.

Al objeto del Pliego de Condiciones Técnicas de Baja Temperatura podrán utilizarse datos de radiación publicados por entidades de reconocido prestigio y los datos de temperatura publicados por el Instituto Nacional de Meteorología.

A falta de otros datos, se recomienda usar las tablas de radiación y temperatura ambiente por provincias publicadas por CENSOLAR.

3.7.5.1.2. Dimensionado básico

El dimensionado básico de las instalaciones o sistemas a medida se refiere a la selección de la superficie de captadores solares y, en caso de que exista, al volumen de acumulación solar, para la aplicación a la que está destinada la instalación. El dimensionado básico de los sistemas solares prefabricados se refiere a la selección del sistema solar prefabricado para la aplicación de ACS a la que está destinado.

El dimensionado básico de una instalación, para cualquier aplicación, deberá realizarse de forma que en ningún mes del año la energía producida por la instalación solar supere el 110% de la demanda de consumo y no más de tres meses seguidos el 100%. A estos efectos, y para instalaciones de un marcado carácter estacional, no se tomarán en consideración aquellos períodos de tiempo en los cuales la demanda se sitúe un 50 % debajo de la media correspondiente al resto del año. En el caso de que se dé la situación de estacionalidad en los consumos indicados anteriormente, deberán tomarse las medidas de protección de la instalación.

Para el cálculo del dimensionado básico de instalaciones a medida podrá utilizarse cualquiera de los métodos de cálculo comerciales de uso aceptado por proyectistas, fabricantes e instaladores. El método de cálculo especificará, al menos sobre base mensual, los valores medios diarios de la demanda de energía y del aporte solar. Asimismo, el método de cálculo incluirá las prestaciones globales anuales definidas por:

- La demanda de energía térmica
- La energía solar térmica aportada
- La fracción solar media anual
- El rendimiento medio anual

Independientemente de lo especificado en los párrafos anteriores, en caso de ACS, se debe tener en cuenta que el sistema solar se debe diseñar y calcular en función de la energía que aporta a lo largo del día y no en función de la potencia del generador (captadores solares), por tanto se debe prever una acumulación acorde con la demanda y el aporte, al no ser ésta simultánea con la generación.

3.7.5.2. Diseño del sistema de captación

3.7.5.2.1. Generalidades

El captador seleccionado deberá poseer la certificación emitida por un organismo competente en la materia o por un laboratorio de ensayos según lo regulado en el RD 891/1980 de 14 de abril, sobre homologación de los captadores solares y en la Orden de 28 de julio de 1980 por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de los captadores solares.

Será necesaria la presentación de la homologación del captador por el organismo de la Administración competente en la materia y la certificación del mismo por laboratorio acreditado, así como las curvas de rendimiento obtenidas por el citado laboratorio.

Se recomienda que los captadores que integren la instalación sean del mismo modelo, tanto por criterios energéticos como por criterios constructivos.

Los captadores se dispondrán en filas constituidas, preferentemente, por el mismo número de elementos. Las filas de captadores se pueden conectar entre sí en paralelo, en serie o en serie-paralelo, debiéndose instalar válvulas de cierre en la entrada y salida de las distintas baterías de captadores y entre las bombas, de manera que puedan utilizarse para aislamiento de estos componentes en labores de mantenimiento, sustitución, etc. Dentro de cada fila los captadores se conectarán en serie o en paralelo.

El número de captadores que se pueden conectar en paralelo tendrá en cuenta las limitaciones del fabricante.

Si el sistema posee una estructura soporte que es montada normalmente en el exterior, el fabricante deberá especificar los valores máximos de s_k (carga de nieve) y v_m (velocidad media de viento) de acuerdo con ENV 1991-2-3 y ENV 1991-2-4.

3.7.5.2.2. Orientación, inclinación, sombras e integración arquitectónica

La orientación e inclinación del sistema de captación y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas respecto al óptimo, sean inferiores a los límites de la tabla mostrada a continuación. Se considerarán tres casos: general, superposición de captadores e integración arquitectónica según se define más adelante. En todos los casos se han de cumplir tres condiciones: pérdidas por orientación e inclinación, pérdidas por sombreado y pérdidas totales inferiores a los límites estipulados respecto a los valores óptimos.

	<i>Orientación e inclinación (OI)</i>	<i>Sombras (S)</i>	<i>Total (OI+S)</i>
General	10%	10%	15%
Superposición	20%	15%	30%
Integración arquitectónica	40%	20%	50%

Fig. 15.- Pérdidas por orientación y sombras. Fuente: [6]

Se considera la dirección Sur como orientación óptima y la mejor inclinación, β_{opt} , dependiendo del período de utilización, uno de los valores siguientes:

- Consumo constante anual: la latitud geográfica
- Consumo preferente en invierno: la latitud geográfica $+10^\circ$
- Consumo preferente en verano: la latitud geográfica -10°

Se debe evaluar la disminución de prestaciones que se origina al modificar la orientación e inclinación de la superficie de captación.

Se considera que existe integración arquitectónica cuando los captadores cumplen una doble función energética y arquitectónica y además sustituyen elementos constructivos convencionales. Se considera que existe superposición arquitectónica cuando la colocación de los captadores se realiza paralela a la envolvente del edificio, no aceptándose en este concepto la disposición horizontal del absorbedor. Una regla fundamental a seguir para conseguir la integración o superposición de las instalaciones solares es la de mantener, dentro de lo posible, la alineación con los ejes principales de la edificación.

3.7.5.2.3. Normativa de mantenimiento

Normativa de obligado cumplimiento:

- RITE 2007 Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio por el que se aprueba el nuevo Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE)
- UNE-EN 12975-1:2001 Sistemas solares térmicos y sus componentes. Captadores solares. Parte 1: Requisitos generales
- UNE-EN 12975-2:2002 Sistemas solares térmicos y sus componentes. Captadores solares. Parte 2: Método de diseño

3.7.5.3. Diseño del sistema de acumulación solar

3.7.5.3.1. Generalidades

Los acumuladores para ACS y las partes de acumuladores combinados que estén en contacto con agua potable, deberán cumplir los requisitos de UNE EN 12897.

Preferentemente, los acumuladores serán de configuración vertical y se ubicarán en zonas interiores.

En caso de que el acumulador esté directamente conectado con la red de distribución de agua caliente sanitaria, deberá ubicarse un termómetro en un sitio claramente visible por el usuario. El sistema deberá ser capaz de elevar la temperatura del acumulador a 60°C y hasta 70°C con objeto de prevenir la legionelosis, tal como aparece en el RD 909/2001 de 27 de julio.

En caso de aplicaciones para ACS y sistema de energía auxiliar no incorporado en el acumulador solar, es necesario realizar un conexionado entre el sistema auxiliar y el solar de forma que se pueda calentar este último con el auxiliar, para poder cumplir con las medidas de prevención de legionella. Se podrán proponer otros métodos de tratamiento anti-legionella.

Los acumuladores de los sistemas grandes a medida con un volumen mayor de 20 m³ deberán llevar válvulas de corte u otros sistemas adecuados para cortar flujos al exterior del depósito no intencionados en caso de daños del sistema.

El acumulador ha de estar formado por:

- Cubeta de ACS
- Purgador
- Termostato
- Entrada de agua de red
- Entrada de fluido caloportador
- Salida de fluido caloportador
- Intercambiador de doble pared
- Recirculación
- Termómetro
- Válvula de seguridad

Estará cubierto de una capa aislante y de la envolvente exterior. La envolvente debe de disponer de un agujero de drenaje de medidas apropiadas, según la capacidad del acumulador.

Cada acumulador debe ser suministrado de fábrica con las tuberías de acoplamiento, debidamente soldadas antes del tratamiento de protección.

3.7.5.3.2. Situación de las conexiones

Con objeto de aprovechar al máximo la energía captada y evitar la pérdida de la estratificación por temperatura en los depósitos, la situación de las tomas para las diferentes conexiones serán las establecidas en los puntos siguientes:

- 1) La conexión de entrada de agua caliente procedente del intercambiador o de los captadores al acumulador se realizará, preferentemente, a una altura comprendida entre el 50 % y el 75 % de la altura total del mismo.
- 2) La conexión de salida de agua fría del acumulador hacia el intercambiador o los captadores se realizará por la parte inferior de éste.
- 3) En caso de una sola aplicación, la alimentación de agua de retorno de consumo al depósito se realizará por la parte inferior. En caso de sistemas abiertos en el consumo, como por ejemplo ACS, esto se refiere al agua fría de red. La extracción de agua caliente del depósito se realizará por la parte superior.

- 4) En caso de varias aplicaciones dentro del mismo depósito habrá que tener en cuenta los niveles térmicos de éstas, de forma que tanto las salidas como los retornos para aplicaciones que requieran un mayor nivel térmico en temperaturas estén por encima de las que requieran un nivel menor.

Se recomienda que la/s entrada/s de agua de retorno de consumo esté equipada con una placa deflectora en la parte interior, a fin de que la velocidad residual no destruya la estratificación en el acumulador o el empleo de otros métodos contrastados que minimicen la mezcla.

Las conexiones de entrada y salida se situarán de forma que se eviten caminos preferentes de circulación del fluido.

3.7.5.3.3. Sistema auxiliar en el acumulador solar

No se permite la conexión de un sistema auxiliar en el acumulador solar, ya que esto puede suponer una disminución de las posibilidades de la instalación solar para proporcionar las prestaciones energéticas que se pretenden obtener con este tipo de instalaciones.

No obstante, y cuando existan circunstancias específicas en la instalación que lo demanden, se podrá considerar la incorporación de energía convencional en el acumulador solar, para lo cual será necesaria la presentación de una descripción detallada de todos los sistemas y equipos empleados, que justifique suficientemente que se produce el proceso de estratificación y que además permita la verificación del cumplimiento, como mínimo, de todas y cada una de las siguientes condiciones en el acumulador solar:

- 1) Deberá tratarse de un sistema indirecto: acumulación solar en el secundario.
- 2) Volumen total máximo de 2000 litros.
- 3) Configuración vertical con relación entre la altura y el diámetro del acumulador no inferior a 2.
- 4) Calentamiento solar en la parte inferior y calentamiento convencional en la parte superior considerándose el acumulador dividido en dos partes separadas por una de transición de, al menos, 10 centímetros de altura. La parte solar inferior

deberá cumplir con los criterios de dimensionado de estas prescripciones y la parte convencional superior deberá cumplir con los criterios y normativas habituales de aplicación.

- 5) La conexión de entrada de agua caliente procedente del intercambiador solar al acumulador se realizará, preferentemente, a una altura comprendida entre el 50% y el 75 % de la altura total del mismo, y siempre por debajo de la zona de transición. La conexión de salida de agua fría hacia el intercambiador se realizará por la parte inferior del acumulador.
- 6) Las entradas de agua estarán equipadas con una placa deflectora o equivalente, a fin de que la velocidad residual no destruya la estratificación en el acumulador.
- 7) No existirá recirculación del circuito de distribución de consumo de ACS.

3.7.5.3.4. Normativa de mantenimiento

Normativa de obligado cumplimiento:

- RAP 1979 Real Decreto 1244/1979, de 4 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Aparatos Presión.

3.7.5.4. Diseño del sistema de energía auxiliar

Para asegurar la continuidad en el abastecimiento de la demanda térmica, esta instalación de energía solar dispondrá de un sistema de energía auxiliar. Puesto que por razones de eficiencia energética, entre otras, se desaconseja la utilización de energía eléctrica obtenida por efecto Joule como fuente auxiliar y queda prohibido el uso de sistemas de energía auxiliar en el circuito primario de captadores, el diseño del sistema de energía auxiliar solamente entrará en funcionamiento cuando sea estrictamente necesario, aprovechando lo máximo posible la energía extraída del campo de captación solar.

El sistema de aporte de energía auxiliar dispondrá de un termostato de control sobre la temperatura de preparación que en condiciones normales de funcionamiento permitirá cumplir con el RD 865/2003.

3.7.6. Condiciones de materiales y equipos

3.7.6.1. Generalidades

Los distintos materiales a colocar serán nuevos y de primera calidad, de manera que la Dirección Facultativa podrá solicitar los certificados de idoneidad y características que estime oportunos, así como rechazar aquellos que a su juicio no resulten ajustados al presente proyecto.

En este sentido, el adjudicatario presentará los certificados que especifiquen las características de aquellos materiales que la Dirección Facultativa estime conveniente.

Las tolerancias y condiciones de recepción de los distintos materiales serán los que determine la normativa específica de aplicación.

3.7.6.2. Selección de materiales

Todos los materiales serán de buena calidad y de reconocida casa comercial. Tendrán las dimensiones que indiquen los documentos del proyecto y fije la dirección facultativa.

3.7.6.3. Procedencia

Se tendrá libertad a la hora de proveerse de los materiales y aparatos de todas clases en los puntos que le parezca conveniente, excepto en los casos en que el pliego particular de condiciones técnicas preceptúe una procedencia determinada.

Se utilizarán proveedores de serie, de manera que los proyectistas diseñarán las piezas y los proveedores solamente las fabricarán.

3.7.6.4. Reconocimiento de los materiales

Los materiales serán reconocidos en obra antes de su empleo por la dirección facultativa, sin cuya aprobación no podrán ser empleados en la obra.

El contratista proporcionará a la dirección facultativa muestra de los materiales para su aprobación.

Los ensayos y análisis que la dirección facultativa crea necesarios, se realizarán en laboratorios autorizados para ello.

3.7.7. Programa de mantenimiento

El objeto de este apartado es definir las condiciones generales mínimas que deben seguirse para el correcto mantenimiento de la instalación solar.

Se definen 3 etapas de actuación:

- 1) Vigilancia
- 2) Mantenimiento preventivo
- 3) Mantenimiento correctivo

3.7.7.1. Vigilancia

El plan de vigilancia se refiere básicamente a las operaciones que permiten asegurar que los valores operacionales de la instalación sean correctos. Es un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales, para verificar el correcto funcionamiento de la instalación. Será llevado a cabo, normalmente, por el usuario, que asesorado por el instalador, observará el correcto comportamiento y estado de los elementos.

3.7.7.2. Mantenimiento preventivo

Son operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otras, que aplicadas a la instalación deben permitir mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la misma.

El plan de mantenimiento debe realizarse por personal técnico especializado que conozca la tecnología solar térmica y las instalaciones mecánicas en general. La instalación tendrá un libro de mantenimiento en el que se reflejen todas las operaciones realizadas, así como el mantenimiento correctivo.

3.7.7.3. Mantenimiento correctivo

Son operaciones realizadas como consecuencia de la detección de cualquier anomalía en el funcionamiento de la instalación, en el plan de vigilancia o en el de mantenimiento preventivo.

3.7.8. Ejecución de los trabajos

En este apartado se pretenden describir las disposiciones mínimas de seguridad y salud de acuerdo con lo que prevé el RD16727/1997 de 24 de octubre.

3.7.8.1. Riesgos

Debidos a herramientas o maquinaria:

- Golpes
- Cortes
- Caída de objetos o personas

Debidos a la electricidad:

- Quemaduras
- Contactos eléctricos
- Incendios

Debidos a anclajes/tornillos:

- Golpes
- Cortes
- Caída de objetos o personas

3.7.8.2. Medidas de prevención

Los trabajadores deberán tener autorización y formación, así como deberán seguir las normas de seguridad. La Dirección Facultativa deberá tomar todas las medidas de prevención posibles para evitar los riesgos señalados en el anterior apartado de este Pliego de Condiciones Técnicas.

3.8. NORMATIVA DE APLICACIÓN Y CONSULTA

3.8.1. Normativa de aplicación

- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Pliego de condiciones técnicas de las instalaciones de energía solar térmica del IDAE

- Reglamento de Recipientes a Presión (RAP).
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus Instrucciones Complementaria MI.BT, incluidas las hojas de interpretación.
- Código Técnico de la Edificación
- Normas Básicas de la Edificación: Condiciones de Protección contra Incendios en los Edificios (NBE-CPI).
- Ordenanzas de Seguridad e Higiene en el Trabajo (OSHT).
- Ley de Protección del Ambiente Atmosférico (LPAA).
- Ley número 88/67 de 8 de noviembre: Sistema Internacional de Unidades de Medida S.I.
- Orden ITC/71/2007, de 22-01-2007, por la que se modifica el anexo de la Orden 28-07-1980 por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de paneles solares.
- Orden ITC/2761/2008, de 26 de septiembre, por la que se amplía el plazo establecido en la disposición transitoria segunda de la Orden ITC/71/2007, de 22 de enero, por la que se modifica el anexo de la Orden de 28 de julio de 1980 por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de paneles solares.
- Orden del 9 de abril de 1981, por la que se especifican las exigencias técnicas que deben cumplir los sistemas solares para agua caliente y climatización, a efectos de la concesión de subvenciones a los propietarios, en el desarrollo del artículo 13 de la ley 82/1980, del 30 de diciembre, sobre conservación de la energía (BOE 25 de Abril de 1981).

3.8.2. Normativa de consulta

- UNE-EN 12975-1: Sistemas solares térmicos y componentes. Captadores solares. Parte 1: Requisitos generales.
- UNE-EN 12975-2: Sistemas solares térmicos y componentes. Captadores solares. Parte 2: Métodos de ensayo.
- UNE-EN 12976-1: Sistemas solares térmicos y componentes. Sistemas solares prefabricados. Parte 1: Requisitos generales.

- UNE-EN 12976-2: Sistemas solares térmicos y componentes. Sistemas solares prefabricados. Parte 2: Métodos de ensayo.
- UNE-EN 12977-1: Sistemas solares térmicos y componentes. Sistemas solares a medida. Parte 1: Requisitos generales.
- UNE-EN 12977-2: Sistemas solares térmicos y componentes. Sistemas solares a medida. Parte 2: Métodos de ensayo.
- prEN 806-1: Specifications for installations inside buildings conveying water for human consumption. Part 1: General.
- prEN 1717: Protection against pollution of potable water in drinking water installations and general requirements of devices to prevent pollution by back flow.
- ENV 1991-2-3: Eurocode 1. Basis of design and actions on structures. Part 2-3: Action on structures; snow loads.
- ENV 1991-2-4: Eurocode 1. Basis of design and actions on structures. Part 2-4: Action on structures; wind loads.
- EN 60335-1/1995: Safety of household and similar electrical appliances. Part 1: General requirements (IEC 335-1/1991 modified).
- EN 60335-2-21: Safety of household and similar electrical appliances. Part 2: Particular requirements for storage water heaters (IEC 335-2-21/1989 + Amendments 1/1990 and 2/1990, modified).
- ENV 61024-1: Protection of structures against lightning. Part 1: General principles (IEC 1024-1/1990, modified).
- ISO 9488: Energía solar. Vocabulario.

Se considerará la edición más reciente de las normas antes mencionadas, con las últimas modificaciones oficialmente aprobadas.



UNIVERSITAT DE LLEIDA
ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO FINAL DE GRADO

**PROYECTO PARA LA INSTALACIÓN DE
CAPTADORES SOLARES Y SUELO RADIANTE EN UN
PISO**

DOCUMENTO Nº 4: PRESUPUESTO

4.1. MEDICIONES

TABLA DE MEDICIONES				
CÓDIGO	PARTIDA	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
SUBSISTEMA DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO PARA ACS				
1	Captador solar plano (Modelo T25 MS de la marca Termicol)	Captador solar térmico plano de dimensiones 2130x1200x83 mm superficie útil de 2,4 m ² . Incluye accesorios a excepción del vaso de expansión y la bomba.	ud	1
2	Soporte captador plano	Soporte vertical para captador solar.	ud	1
3	Bomba captador solar	Bomba de circulación recomendada para instalaciones de 1 a 6 captadores e instalación en circuito primario de la marca Termicol.	ud	1
4	Vaso de expansión	Vaso de expansión con membrana de 25 litros con grupo de conexión.	ud	1
5	Conjunto de accesorios de conexión	Tapón compresión tubo cobre 16, Reducción 3/4 Ma1/2"H, Racor macho 16-3/4, Cruz igual 3/4"H, Válvula de esfera 1/2" M-H mariposa. Purgador automático 3/8" M, Vaina latón 1/2", Válvula esfera 3/4" M-H mariposa, Válvula de Seguridad 6 bar 1/2" "H Solar y Racor Marsella 3/4 Ha1/2".	ud	1
6	Conjunto de adaptadores al circuito hidráulico	Racor macho 18-3/4 (4 unidades).	ud	1
7	Depósito acumulador	Depósito acumulador de agua con volumen total de 150 litros para su posterior distribución.	ud	1
8	Fluido caloportante	Garrafa de 20 litros de anticongelante solar diluido, Rango de uso hasta -28°C.	ud	1
SUBSISTEMA DE APOYO A ACS Y SUMINISTRO DE CALEFACCIÓN				
9	Conjunto de accesorios de conexión al sistema caldera - ACS	Juego de conexión para producción de ACS, incluye válvula de tres vías y sonda.	ud	1
10	Conjunto de accesorios de conexión caldera - calefacción	Juego de conexión para calefacción mediante suelo radiante.	ud	1
SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE CALEFACCIÓN				

11	Film de polietileno	Film de polietileno que se instala debajo del aislamiento como barrera anti vapor en aquellas zonas que se encuentren en contacto con el terreno, o en las que existan problemas de condensación.	m ²	88
12	Plancha de aislamiento	Elemento base machihembrado para sistema dinámico de calefacción por suelo. Plastificado según norma UNE 12644 que sirve como: Elemento de fijación de los tubos, manteniendo una horizontalidad y separación homogénea de los mismos según UNE 1264.	m ²	88
13	Banda perimetral de aislamiento	Banda de espuma de polietileno que se instala en forma de rodapié en todos los paramentos verticales para absorber las dilataciones de los pavimentos y eliminar los puentes térmicos con los cerramientos.	m	117,92
14	Colectores de alimentación y de retorno	Fabricado en poliamida térmicamente estabilizada, reforzada con fibra de vidrio, resistente al agua caliente, adecuada para todos los sistemas de calefacción por suelo radiante. Sistema de montaje rápido; se incluye purgador manual, etiquetas y llave de montaje. 9 circuitos.	ud	1
15	Caja para colectores	Caja para instalar los conectores en una pared, de forma empotrada. De 8 a 10 salidas.	ud	1
16	Codos guía	Curva de polipropileno reforzada con fibra de vidrio para la protección de los tubos a la salida del mortero hacia el distribuidor. Se instalan 2 por circuito.	ud	18
17	Tubo circuitos	Tubos de polietileno reticulado por radiación de electrones según norma UNE-EN ISO 15875 y certificado de calidad AENOR. Destinados a su utilización en instalaciones de agua caliente y fría en el interior de la estructura de los edificios. PE-Xc-16 x 1,8 mm.	m	530,5

18	Tubo caldera - colector	Tira de cobre de 22 mm de diámetro, con capa protectora para prolongar su vida útil. Recomendado para instalaciones de agua caliente sanitaria y circuitos de calefacción.	m	25,2
19	Bomba de impulsión	Bomba modelo "WILO Stratos PICO" con racores de conexión.	ud	1
20	Termostato	Termostato electrónico con interruptor marcha/paro, para control de temperatura ambiente (su colocación para suelo radiante oscila entre 1 y 1,5 m. del suelo).	ud	9
21	Distribuidor señal termostato	Distribuidor de las señales procedentes del termostato. Hasta 10 circuitos.	ud	1
22	Regulador	Regulador compacto para calefacción y suelo radiante con compensación de la temperatura exterior. Montaje sobre válvula de 3/4" vías ESBE para conseguir una regulación excelente. Incluye sonda ambiente.	ud	1
NUEVOS ELEMENTOS PARA EL SUELO				
23	Baldosa convencional	Serie de cerámica MIRAMBEL fabricada en pasta roja e indicada para cocinas o lavabos.	m ²	63
24	Baldosa para baño y cocina	Pavimento fabricado en pasta roja con acabado en color grafito. Indicado para suelos de interior.	m ²	19

4.2. COSTES DIRECTOS

COSTES DIRECTOS				
CONCEPTO	UNIDADES	CANTIDAD	COSTE UNITARIO (€/unidad)	COSTE FINAL (€)
SUBSISTEMA DE CAPTACIÓN				
Captador solar plano (Modelo T25 MS de la marca Termicol)	ud	1	730	730
Soporte captador plano	ud	1	180	180
Bomba captador solar	ud	1	180	180
Vaso de expansión	ud	1	41	41
Conjunto de accesorios de conexión	ud	1	109	109
Conjunto de adaptadores al circuito	ud	1	10	10
Depósito acumulador	ud	1	386	386
Fluido caloportante	ud	1	87	87
SUBTOTAL				1732
SUBSISTEMA DE APOYO A ACS Y SUMINISTRO DE CALEFACCIÓN				
Conjunto de accesorios de conexión al caldera -depósito	ud	1	177	177
Conjunto de accesorios de conexión caldera - calefacción	ud	1	96	96
SUBTOTAL				273
SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE CALEFACCIÓN				
Film de polietileno	m ²	88	0,85	74,8
Plancha de aislamiento	m ²	88	9,33	821,04
Banda perimetral de aislamiento	m	117,92	0,65	76,648
Colectores de alimentación y de retorno	ud	1	427	427
Caja para colectores	ud	1	90,75	90,75
Codos guía	ud	18	0,95	17,1
Tubo circuitos	m	530,5	1,08	572,94
Tubo caldera - colector	m	25,2	5,35	134,82
Bomba de impulsión	ud	1	388	388
Termostato	ud	9	25	225
Distribuidor señal termostato	ud	1	94,7	94,7
Regulador	ud	1	700	700
SUBTOTAL				3622,80
NUEVOS ELEMENTOS PARA EL SUELO				
Baldosa convencional	m ²	63	11,95	752,85
Baldosa para baño y cocina	m ²	19	8,95	170,05
SUBTOTAL				922,9
TOTAL COSTES DIRECTOS				6542,54

4.3. COSTES INDIRECTOS

Tal y como se especifica en el Pliego de Condiciones del presente proyecto, los costes indirectos harán referencia al transporte, instalación, obras, redacción del proyecto, etc. y se estimarán en un porcentaje de los costes directos.

COSTES INDIRECTOS	
CONCEPTO	COSTE TOTAL (€)
Instalación y puesta en marcha (10%)	654,25
Ingeniería y legalización (5%)	327,13
Obras en la vivienda	1200
TOTAL COSTES INDIRECTOS	2181,38

4.4. PRECIO DE LA EJECUCIÓN MATERIAL

PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL	
COSTES DIRECTOS (€)	
Subsistema de captación	1723,84
Subsistema de apoyo a ACS y calefacción	273
Subsistema de distribución de calefacción	3622,80
Nuevos elementos para el suelo	922,9
COSTES INDIRECTOS (€)	
Instalación y puesta en marcha	654,25
Ingeniería y legalización	327,13
Obras en la vivienda	1200
TOTAL	
8.723,92 euros	



UNIVERSITAT DE LLEIDA
ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO FINAL DE GRADO

**PROYECTO PARA LA INSTALACIÓN DE
CAPTADORES SOLARES Y SUELO RADIANTE EN UN
PISO**

DOCUMENTO Nº 5: ANEXOS

ANEXO 1 – DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES DE ACS



PROYECTO PARA LA INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE Y CAPTADORES SOLARES PARA ACS EN UN PISO

Universitat de Lleida

5.1. DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES DE ACS

5.1.1. Determinación de la zona climática

Durante el proyecto, es necesaria la realización de diversos cálculos relacionados con la climatización y con el consumo de ACS. Para ello, es importante saber la zona climática en la que se encuentra el edificio.

Dependiendo del tipo de cálculo que se va a realizar, la zona climática varía.

La primera de las zonas climáticas hace referencia a los cálculos térmicos. El CTE fija unos valores límite de transmitancia para paredes, suelos y cubiertas, que dependen de la zona en la que el edificio esté emplazado. Para la determinación de esta zona, se debe acudir al apéndice B del DB-HE.

Zonas climáticas Península Ibérica																		
Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1
Albacete	D3	677										h < 450			h < 950			h ≥ 950
Alicante/Alacant	B4	7					h < 250					h < 700			h ≥ 700			
Almería	A4	0	h < 100				h < 250	h < 400				h < 800			h ≥ 800			
Ávila	E1	1054														h < 550	h < 850	h ≥ 850
Badajoz	C4	168									h < 400	h < 450			h ≥ 450			
Barcelona	C2	1										h < 250			h < 450	h < 750	h ≥ 750	
Bilbao/Bilbo	C1	214											h < 250				h ≥ 250	
Burgos	E1	861														h < 600	h ≥ 600	
Cáceres	C4	385									h < 600				h < 1050			h ≥ 1050
Cádiz	A3	0		h < 150				h < 450				h < 600	h < 850			h ≥ 850		
Castellón/Castelló	B3	18						h < 50				h < 500			h < 600	h < 1000		h ≥ 1000
Ceuta	B3	0						h < 50										
Ciudad Real	D3	630									h < 450	h < 500			h ≥ 500			
Córdoba	B4	113					h < 150				h < 550				h ≥ 550			
Coruña, La/ A Coruña	C1	0												h < 200			h ≥ 200	
Cuenca	D2	975													h < 800	h < 1050		h ≥ 1050
Gerona/Girona	D2	143											h < 100			h < 600		h ≥ 600
Granada	C3	754	h < 50				h < 350				h < 600	h < 800			h < 1300			h ≥ 1300
Guadalajara	D3	708													h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Huelva	A4	50	h < 50				h < 150	h < 350				h < 800			h ≥ 800			
Huesca	D2	432										h < 200			h < 400	h < 700		h ≥ 700
Jaén	C4	436					h < 350				h < 750				h < 1250			h ≥ 1250
León	E1	346																h < 1250
Lérida/Lleida	D3	131										h < 100			h < 600			h ≥ 600

Tabla 15.- Zonas climáticas según su situación en España. Fuente: [6]

Se puede observar que, para Huesca, todo lo que esté a una altitud inferior a los 400 metros se considerará en la zona D3. De esta forma, Tamarite, que se encuentra a 357 metros de altitud, pertenecerá a esa zona climática.

La segunda de las zonas climáticas hace referencia a los cálculos relacionados con el ACS, ya que dependiendo de la zona climática, la contribución mínima de energía solar para estas instalaciones será de una cantidad o de otra. Como se puede ver en la tabla 8, Tamarite de Litera pertenece a la zona climática III.

Provincia	Municipio	Código INE	Zona Climática
HUESCA	Sesué	22221	II
	Siétamo	22222	III
	Sopeira	22223	II
	Tamarite de Litera	22225	III
	Tardienta	22226	III
	Tella-Sin	22227	II

Tabla 16.- Zona climática de Tamarite de Litera. Fuente: [6]

5.1.2. Cálculo de las necesidades de ACS

Tras conocer que la vivienda se encuentra en la zona climática III, es necesario averiguar cuál es el porcentaje mínimo de energía que debe cubrir el colector solar. Para ello, se debe acudir a la sección 4 del DB-HE del CTE (Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria).

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50 – 5.000	30	30	40	50	60
5.000 – 10.000	30	40	50	60	70
> 10.000	30	50	60	70	70

Tabla 17.- Contribución solar mínima para ACS en función de la demanda (en %). Fuente [6]

En el caso de la vivienda estudiada, el consumo de ACS nunca va a ser mayor de 5000 l/d, por lo que la contribución solar mínima de la instalación deberá ser de un 40%.

Se considera que la demanda de ACS será a 60°C, que es la temperatura de referencia. A esta temperatura, la demanda estimada de ACS viene dada por la tabla10, que se puede consultar a continuación:

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60° C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

Tabla 18.- Demanda de ACS diaria según el tipo de uso del edificio. Fuente [6]

La vivienda estudiada se trata de una vivienda multifamiliar (se encuentra en un bloque de pisos) por lo que se estima un consumo de 22 litros por persona y día.

La vivienda cuenta con 3 dormitorios, por lo que la ocupación será de 4 personas.

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Tabla 19.- Número de personas por vivienda según el número de dormitorios de esta. Fuente: [6]

$$Q_{cons} = 22 \cdot 4 = \mathbf{88 \text{ litros/día}}$$

También es necesario conocer la temperatura del agua de red, es decir, la temperatura a la que el agua es suministrada. Esto depende de cada municipio. El programa CYPE, en su base de datos, proporciona los siguientes valores para Tamarite de Litera:

Temperatura del agua de red (°C)											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
7,84	8,84	10,84	11,42	14,42	16,42	19,42	18,42	17,42	13,84	9,84	7,84

Tabla 20.- Temperatura del agua de red para la localidad de Tamarite (datos de CYPE)

Para el cálculo de la demanda energética, se utiliza la siguiente ecuación:

$$D_{energética ACS} = D_{diaria} \cdot d_{mes} \cdot N \cdot \rho_{H_2O} \cdot C_{e_{H_2O}} \cdot (T_{ACS} - T_{red})$$

Dónde:

D_{energética ACS}, demanda energética mensual (kJ/mes)

D_{diaria}, demanda de litros por persona y día (l/persona·día)

d_{mes} , total de días del mes

N , total de personas en la vivienda

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$, densidad del agua (1 kg/l)

$C_{\text{eH}_2\text{O}}$, calor específico del agua (4,18 kJ/kg·°C)

T_{ACS} , temperatura del ACS (60°C)

T_{red} , temperatura del agua de red de la localidad (°C)

Tras realizar los cálculos correspondientes, en la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos:

Demanda energética de ACS						
Mes	D_{diaria} (l/día·pers)	Días	Personas	T_{ACS} (°C)	T_{red} (°C)	$D_{\text{energética}}$ (MJ/mes)
Enero	22	31	4	60	7,84	594,78
Febrero	22	28	4	60	8,84	526,92
Marzo	22	31	4	60	10,84	560,57
Abril	22	30	4	60	11,42	536,09
Mayo	22	31	4	60	14,42	519,75
Junio	22	30	4	60	16,42	480,91
Julio	22	31	4	60	19,42	462,74
Agosto	22	31	4	60	18,42	474,14
Septiembre	22	30	4	60	17,42	469,88
Octubre	22	31	4	60	13,84	526,36
Noviembre	22	30	4	60	9,84	553,53
Diciembre	22	31	4	60	7,84	594,78
TOTAL (MJ/año)						6300,46

Tabla 21.- Demanda energética mensual y anual de ACS para la vivienda

ANEXO 2 – DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA

5.2. DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA

5.2.1. Cálculo de la radiación solar incidente

Para un correcto dimensionado de los colectores solares, es necesario definir con anterioridad varias variables relacionadas con las coordenadas del emplazamiento y la inclinación de la cubierta. Las variables a definir son las siguientes:

- Acimut (α) [°]. El acimut es el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del captador y el meridiano de la localidad. Si se decide orientar el captador hacia el sud, el acimut será de 0° (como se puede observar en la Fig. 17), mientras que si se orienta hacia el este o el oeste, el acimut será de -90° y $+90^\circ$ respectivamente.

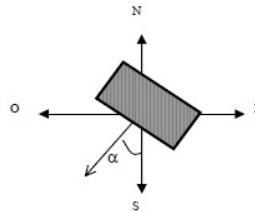


Fig. 16.- Ángulo de acimut. Fuente: [6]

- Latitud (φ) [°]. Distancia angular que hay desde un punto de la superficie de la Tierra hasta el paralelo del ecuador, medida a lo largo del meridiano en el que se encuentra ese punto. La latitud, dependiendo de la zona del planeta puede ser positiva (sud) o negativa (norte).
- Inclinación (β) [°]. Ángulo que forma la superficie encargada de recibir la radiación (captador) con el plano horizontal. Su valor puede variar entre los 0° (totalmente horizontal) y los 90° (totalmente vertical). El valor recomendado es el coincidente con la latitud de emplazamiento de la vivienda, en este caso, 41° .
- Horas de sol diarias ($N_{\text{horas, mes}}$). Número de horas que son aprovechables para captar radiación durante el mes. Estos datos de horas solares, así como los de radiación, se pueden consultar en la página web del Gobierno de Aragón, que proporciona los valores de las principales ciudades de Aragón, entre las que

Tamarite se encuentra. La tabla 19 indica las horas mensuales de sol para el emplazamiento de la vivienda.

Horas de sol al mes en Tamarite de Litera											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
124,9	180,8	234	262,9	298,5	338,8	361,9	362,3	261,9	203,7	144,6	102,9

Tabla 22.- Horas útiles de sol al mes en Tamarite de Litera

- Radiación solar incidente (H_{diaria}) [MJ/m^2]. Es la cantidad de energía que, diariamente y según el mes del año, incide sobre la superficie captadora (horizontal) (ver Tabla 20).

Radiación solar horizontal en Tamarite de Litera			
Mes	H_{horiz} [$\text{Wh}/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$]	H_{horiz} [$\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$]	H_{horiz} mensual [MJ/m^2]
Enero	1778	6,40	198,42
Febrero	3046	10,97	307,04
Marzo	4227	15,22	471,73
Abril	5501	19,80	594,11
Mayo	6429	23,14	717,48
Junio	7349	26,46	793,69
Julio	7408	26,67	826,73
Agosto	6501	23,40	725,51
Septiembre	5073	18,26	547,88
Octubre	3453	12,43	385,35
Noviembre	2199	7,92	237,49
Diciembre	1485	5,35	165,73
ANUAL			5972,4

Tabla 23.- Radiación solar horizontal en Tamarite de Litera

Se debe comprobar que la radiación solar media diaria ($16,33 \text{ MJ}/\text{m}^2 \text{ día}$) se encuentra dentro del rango de radiación establecido para zona climática III. Esto sirve para asegurarse de que la información sobre radiación facilitada por el Gobierno de Aragón es correcta.

Zona climática	MJ/m^2	kWh/m^2
I	$H < 13,7$	$H < 3,8$
II	$13,7 \leq H < 15,1$	$3,8 \leq H < 4,2$
III	$15,1 \leq H < 16,6$	$4,2 \leq H < 4,6$
IV	$16,6 \leq H < 18,0$	$4,6 \leq H < 5,0$
V	$H \geq 18,0$	$H \geq 5,0$

Tabla 24.- Radiación solar global. Fuente: [6]

- Radiación solar incidente sobre una superficie inclinada (H_{incl}) [MJ/m^2]. Es la radiación solar que incide sobre una superficie inclinada. El valor de esta radiación solar inclinada puede calcularse de la siguiente forma:

$$H_{incl} = \frac{H_{horiz}}{1 - 4,46 \cdot 10^{-4} \cdot \beta_{opt} - 1,19 \cdot 10^{-4} \cdot \beta_{opt}^2}$$

- Irradiación solar media (I) [W/m^2]. Es la energía que incide por unidad de tiempo y de superficie. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$I = \frac{H_{incl} \cdot d_{mes}}{N_{horas,mes}} \cdot \frac{1000000}{3600}$$

Irradiación solar media en Tamarite de Litera				
Mes	Días	H_{incl} ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{día}$)	$N_{horas,mes}$	I (W/m^2)
Enero	31	8,19	124,9	564,55
Febrero	28	14,03	180,8	603,48
Marzo	31	19,47	234	716,39
Abril	30	25,33	262,9	803,06
Mayo	31	29,61	298,5	854,15
Junio	30	33,85	338,8	832,49
Julio	31	34,12	361,9	811,80
Agosto	31	29,94	326,3	790,13
Septiembre	30	23,36	261,9	743,40
Octubre	31	15,90	203,7	672,27
Noviembre	30	10,13	144,6	583,65
Diciembre	31	6,84	102,9	572,33

Tabla 25.- Irradiación solar en Tamarite de Litera

5.2.2. Cálculo de las pérdidas en los colectores

El CTE, a través de su DB-HE, establece que “se considerará como la orientación óptima el sur y la inclinación óptima, dependiendo del periodo de utilización, uno de los valores siguientes:

- demanda constante anual: la latitud geográfica;
- demanda preferente en invierno: la latitud geográfica $+10^\circ$;

c) demanda preferente en verano: la latitud geográfica -10° ."

El colector se instalará en una zona de la cubierta sin inclinación, por lo que se montará sobre soporte y se podrá escoger la inclinación deseada.

Este mismo documento dice que la orientación e inclinación del sistema generador y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas sean inferiores a los límites de la tabla que se expone a continuación:

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
<i>Superposición de captadores</i>	20 %	15 %	30 %
<i>Integración arquitectónica de captadores</i>	40 %	20 %	50 %

Tabla 26.- Límites de pérdidas para el captador solar. Fuente: [6]

Se considera integración arquitectónica cuando la disposición de los captadores hace que estos cumplen una doble función, energética y arquitectónica (revestimiento, cerramiento o sombreado) y, además, sustituyen a elementos constructivos convencionales o son elementos constituyentes de la composición arquitectónica. En el caso de la superposición de captadores, es cuando estos se colocan paralelos a la envolvente del edificio sin necesidad de cumplir la doble funcionalidad definida en la integración arquitectónica. No se considera admisible la colocación horizontal de los módulos con el fin de favorecer la auto limpieza de los captadores.

Las pérdidas se pueden calcular habiendo definido un ángulo de acimut (en este caso 0°), con la latitud para el municipio de Tamarite de Litera (41°) y con la inclinación de los colectores (41°). Para realizar este cálculo se utilizará la figura 18 (esta figura está referida a un ángulo de 41°).

Habiendo determinado el ángulo de acimut del captador, se calcularán los límites de inclinación aceptables de acuerdo a las pérdidas máximas respecto a la inclinación óptima establecida. Para el caso general, las pérdidas máximas por este concepto son del 10 %, para superposición del 20 % y para integración arquitectónica del 40 %. Los puntos de intersección del límite de pérdidas con la recta de acimut proporcionarán los valores de inclinación máxima y mínima. Además, al tratarse del caso general, se sabe

que el máximo de pérdidas permitido por inclinación y orientación es del 10%, aunque, en este caso y para asegurar que se cumpla con la normativa, se realizará de forma que el máximo de pérdidas sea del 5%. Así, en la figura se debe encontrar la inclinación máxima y mínima que proporcionen un 95% de energía.

Una vez conocidos los valores de inclinación máxima e inclinación mínima, deberá realizarse una corrección con la ayuda de varias ecuaciones.

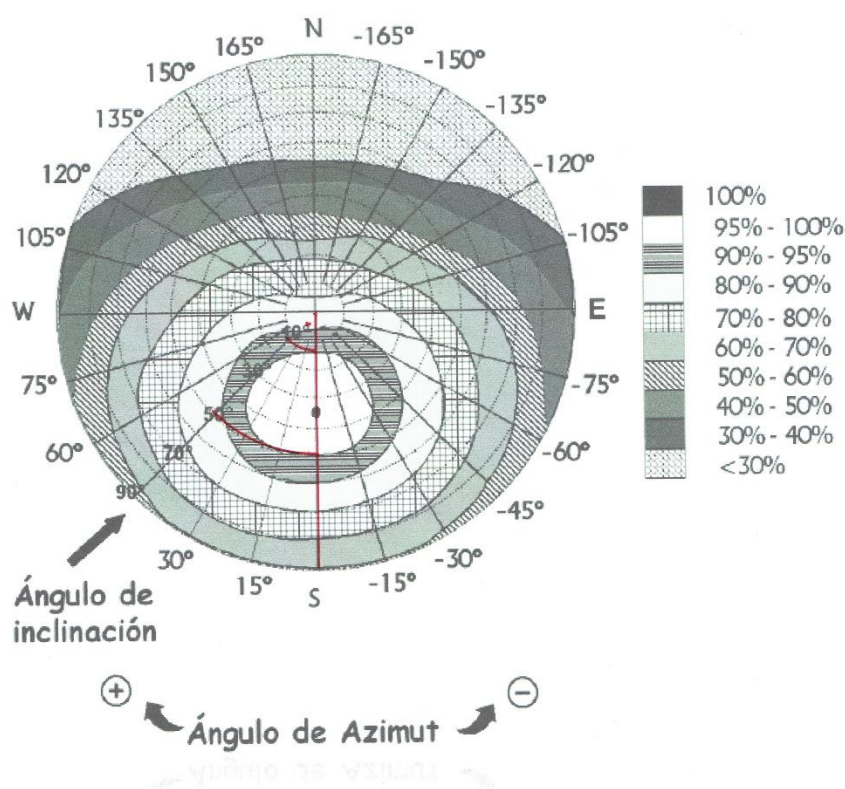


Fig. 17.- Inclinación máxima y mínima de los colectores para cumplir la normativa. Fuente: [6 - propia]

Inclinación mínima: 13°
Inclinación máxima: 50°

La inclinación escogida para los colectores se encuentra dentro del rango y, por lo tanto, es correcta. Se recuerda que se ha escogido una inclinación de 41° porque la inclinación óptima es aquella que se acerca a la latitud del emplazamiento del colector.

Una vez conocidas las inclinaciones límites, se debe realizar una corrección según la latitud en la que se encuentra el municipio. En el caso de esta vivienda, al encontrarse

en una latitud de 41° y el gráfico estar referido a esta misma latitud, no es necesario realizar la corrección. En el caso de ser necesario (por ejemplo, encontrándose la vivienda en una latitud de 29°), se deberán utilizarán las siguientes ecuaciones:

$$\text{Inclinación máxima} = \text{Inclinación máxima (a 41°)} - (41° - \text{latitud deseada})$$

$$\text{Inclinación mínima} = \text{Inclinación mínima (a 41°)} - (41° - \text{latitud deseada})$$

En el caso de la inclinación mínima, el valor nunca será menor de 0°.

En el caso de que la inclinación escogida para los colectores esté muy próxima a un máximo o mínimo, el DB-HE proporciona unas ecuaciones para saber el porcentaje exacto de las pérdidas:

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \cdot \left[1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \cdot 10^{-4} \cdot \alpha^2 \right] \text{ para } 15^\circ < \beta < 90^\circ$$

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \cdot \left[1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 \right] \text{ para } \beta \leq 15^\circ$$

5.2.3. Selección del colector solar

Son varios los colectores solares que pueden funcionar correctamente para la instalación pretendida. Es este apartado se va a realizar un estudio para ver cuál es el que puede aportar un mayor rendimiento.

La norma UNE EN 2975-2:2001 establece la siguiente ecuación para determinar el rendimiento instantáneo de un colector:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot T_m^* - a_2 \cdot I \cdot (T_m^*)^2$$

Dónde:

η_0 , factor de eficiencia óptima del colector. Depende de cada colector y viene proporcionado por el fabricante a través de la ecuación: $\eta_0 = F_r \cdot (\tau \cdot \alpha)_n$.

a_1 , coeficiente global de pérdidas del captador ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$). Proporcionado por el fabricante mediante a través de la ecuación: $a_1 = F_r \cdot U_L$.

a_2 , coeficiente de pérdidas del captador ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}^2$). Proporcionado por el fabricante.

I , irradiación solar, anteriormente calculada (W/m^2).

T_m^* , diferencia reducida de la temperatura. Puede calcularse según la siguiente ecuación:

$$T_m^* = \frac{T_{media} - T_{ambiente}}{I}$$

$$T_{media} = T_{red} + \frac{T_{ACS} - T_{red}}{2}$$

De esta forma:

Cálculo de T_m^* para encontrar el rendimiento del colector						
Mes	$T_{ambiente}$ (°C)	T_{red} (°C)	T_{ACS} (°C)	T_{media} (°C)	I (W/m ²)	T_m^* (°C)
Enero	5,5	7,84	60,00	33,92	564,55	0,050
Febrero	7,6	8,84	60,00	34,42	603,48	0,044
Marzo	10,8	10,84	60,00	35,42	716,39	0,034
Abril	13,1	11,42	60,00	35,71	803,06	0,028
Mayo	17,4	14,42	60,00	37,21	854,15	0,023
Junio	21,9	16,42	60,00	38,21	832,49	0,020
Julio	24,7	19,42	60,00	39,71	811,80	0,018
Agosto	24,5	18,42	60,00	39,21	790,13	0,019
Septiembre	20,7	17,42	60,00	38,71	743,40	0,024
Octubre	15,6	13,84	60,00	36,92	672,27	0,032
Noviembre	9,5	9,84	60,00	34,92	583,65	0,044
Diciembre	5,9	7,84	60,00	33,92	572,33	0,049

Tabla 27.- Cálculo de la variable T_m^* utilizada para determinar el rendimiento del colector

Una vez conocidas las variables necesarias para encontrar el rendimiento de los colectores, es el momento de comparar varios de ellos. Para eso, se decide realizar la comparación entre colectores de, aproximadamente, misma superficie y de compañías distintas. Para determinar cuál es el colector que mejor se adapte al emplazamiento, se establecerá un ratio entre el coste del colector y la potencia suministrada, que seguirá la siguiente ecuación:

$$R = \frac{Coste}{P_u} = \frac{Coste}{\eta \cdot I \cdot A_c}$$

Dónde:

R, ratio entre coste y potencia (€/W).

Coste, precio del colector (€).

P_u , potencia suministrada por el colector (W).

η , rendimiento del colector.

I , irradiación solar (W/m^2).

A_c , superficie útil del colector (m^2).

Se escogen los siguientes colectores para compararlos entre ellos:

- ECOTOP HRF 2.3 (Ferroli S.A.)
- SOL 250 (BAXI S.A.)
- SONNENKRAFT SKR 500 (GreenOne Tec Solarindustrie GmbH)
- TERMICOL T25-M (Termicol energía solar S.L.)
- MAXOL 2.21 MA (Delpaso Solar S.L.)
- VAILLANT VFK 125 (Vaillant GmbH)

Ecuación de rendimiento de los distintos modelos de colectores			
Modelo	Área (m^2)	Coste (€)	Ecuación de rendimiento
ECOTOP HRF 2.3	2,23	608	$\eta = 0,737 - 3,775 \cdot T^*_m - 0,023 \cdot I \cdot (T^*_m)^2$
SOL 250	2,37	550	$\eta = 0,814 - 3,639 \cdot T^*_m - 0,0089 \cdot I \cdot (T^*_m)^2$
SKR 500	2,3	720	$\eta = 0,820 - 3,821 \cdot T^*_m - 0,0108 \cdot I \cdot (T^*_m)^2$
T25-M	2,4	570	$\eta = 0,813 - 3,674 \cdot T^*_m - 0,019 \cdot I \cdot (T^*_m)^2$
2.21 MA	2	550	$\eta = 0,788 - 3,911 \cdot T^*_m - 0,010 \cdot I \cdot (T^*_m)^2$
VFK 125	2,35	450	$\eta = 0,753 - 3,936 \cdot T^*_m - 0,017 \cdot I \cdot (T^*_m)^2$

Tabla 28.- Área, coste y ecuación de rendimiento de los diversos colectores escogidos

Con la ecuación de rendimiento de cada uno de los colectores, el área de estos y el precio, se puede realizar el cálculo del ratio y del propio rendimiento para cada mes del año. Estos resultados se muestran en la tabla de la próxima página (tabla 21).

Rendimientos y ratios mensuales de los captadores seleccionados												
	ECOTOP HRF 2.3		SOL 250		SKR 500		T25-M		2.21 MA		VFK 125	
Mes	η (%)	R (€/W)	η (%)	R (€/W)	η (%)	R (€/W)	η (%)	R (€/W)	η (%)	R (€/W)	η (%)	R (€/W)
Enero	51,41	0,94	61,81	0,79	61,22	0,88	60,09	0,70	57,68	0,84	53,70	0,63
Febrero	54,18	0,83	64,17	0,71	63,73	0,79	62,71	0,63	60,23	0,76	56,36	0,56
Marzo	58,78	0,65	68,14	0,56	67,95	0,62	67,07	0,49	64,51	0,60	60,79	0,44
Abril	61,61	0,55	70,59	0,49	70,55	0,54	69,75	0,42	67,15	0,51	63,51	0,38
Mayo	63,89	0,50	72,55	0,44	72,64	0,49	71,91	0,39	69,27	0,46	65,71	0,34
Junio	65,57	0,50	73,99	0,45	74,17	0,49	73,49	0,39	70,82	0,47	67,32	0,34
Julio	66,08	0,51	74,42	0,46	74,64	0,50	73,98	0,40	71,29	0,48	67,81	0,35
Agosto	66,04	0,52	74,38	0,47	74,59	0,52	73,94	0,41	71,24	0,49	67,77	0,36
Septiembre	63,55	0,58	72,20	0,51	72,27	0,57	71,57	0,45	68,89	0,54	65,36	0,39
Octubre	60,17	0,67	69,26	0,59	69,15	0,65	68,36	0,52	65,72	0,62	62,10	0,46
Noviembre	54,71	0,85	64,57	0,73	64,16	0,81	63,19	0,64	60,66	0,78	56,84	0,58
Diciembre	52,06	0,91	62,36	0,77	61,81	0,86	60,71	0,68	58,28	0,82	54,32	0,62

Tabla 29.- Rendimientos y ratios de los diversos colectores estudiados



PROYECTO PARA LA INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE Y CAPTADORES SOLARES PARA ACS EN UN PISO

Universitat de Lleida

Tras realizar los cálculos, se pueden comparar los colectores mediante la realización de gráficos:

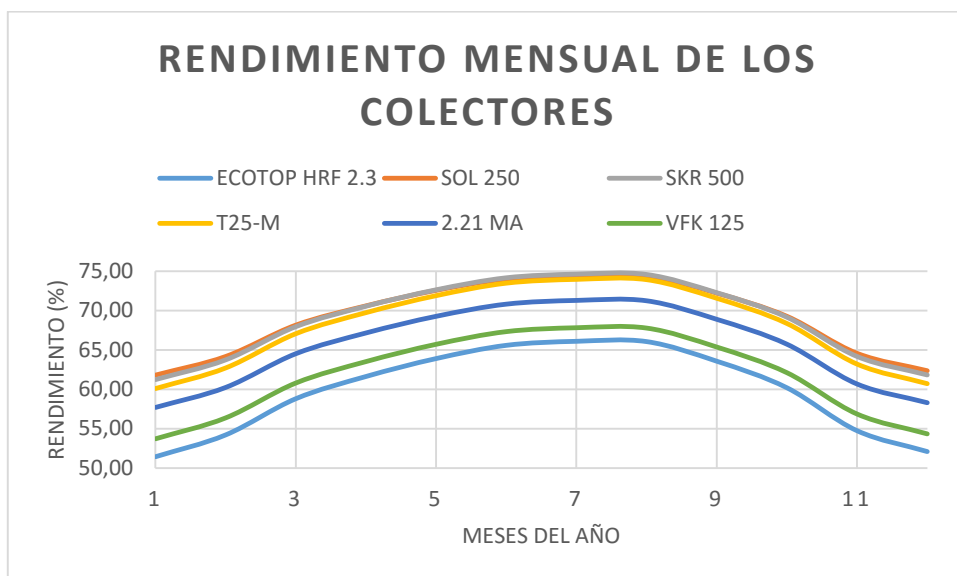


Fig. 18.- Gráfico comparativo entre rendimientos de los colectores

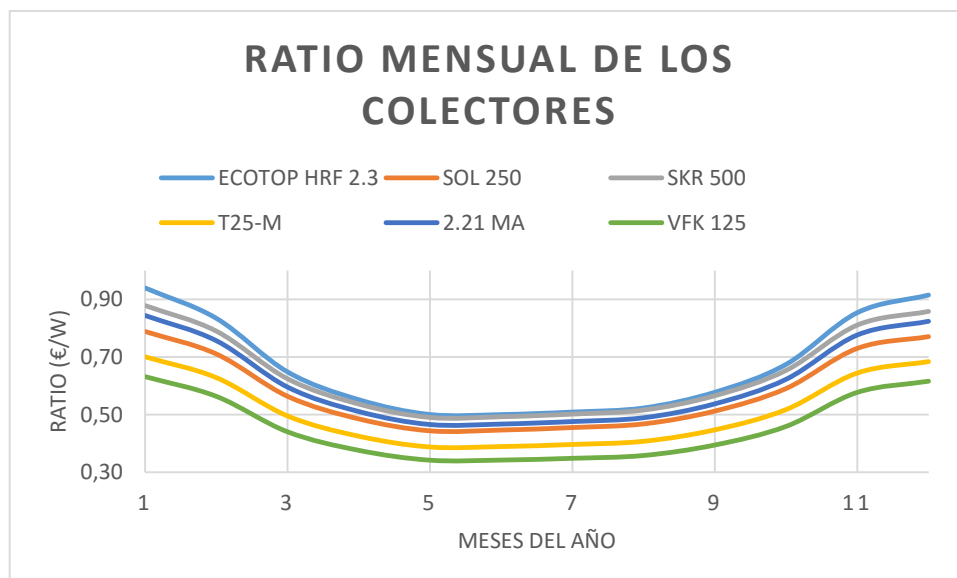


Fig. 19.- Gráfico comparativo entre ratios de los colectores

De esta forma, si se comparan rendimientos y ratios, se observa que el captador que mayor rendimiento ofrece es el SOL 250, seguido del SKR500 y del T25-M. El colector escogido es el T25M, ya que, aparte de ser uno de los que proporciona un mayor rendimiento a lo largo de todo el año, también es uno de los que tiene un menor ratio en cuanto a coste/potencia útil, que significa que es el que proporciona más potencia a menor coste.

5.2.4. Cálculo de la fracción solar mensual y anual mediante el método F-Chart

También conocido como el “método de las curvas f ”, el método F-chart es un sistema de cálculo simplificado que permite realizar el cálculo de la cobertura de un sistema solar, es decir, de su contribución a la aportación de calor total necesario para cubrir las cargas térmicas, y de su rendimiento medio en un largo período de tiempo.

Para la realización de estos cálculos se ha seguido paso a paso el procedimiento explicado en el “pliego de condiciones técnicas de instalaciones a baja temperatura” del IDAE.

Para desarrollar este método se utilizan datos mensuales medios meteorológicos, y es perfectamente válido para determinar el rendimiento o factor de cobertura solar en instalaciones de calentamiento, en todo tipo de edificios, mediante captadores solares planos.

Su aplicación sistemática consiste en identificar las variables adimensionales del sistema de calentamiento solar y utilizar la simulación de funcionamiento mediante ordenador, para dimensionar las correlaciones entre estas variables y el rendimiento medio del sistema para un dilatado período de tiempo.

La ecuación utilizada en este método es:

$$f = 1,029 \cdot D_1 - 0,065 \cdot D_2 - 0,245 \cdot D_1^2 - 0,0018 \cdot D_2^2 - 0,0215 \cdot D_1^3$$

El proceso a seguir para la realización del método es el siguiente:

1. Valoración de las cargas caloríficas para el calentamiento de agua destinada a la producción de ACS

2. Valoración de la radiación solar incidente en la superficie inclinada del captador o captadores.
3. Cálculo del parámetro D_1 .
4. Cálculo del parámetro D_2 .
5. Determinación de la gráfica f .
6. Valoración de la cobertura solar mensual.
7. Valoración de la cobertura solar anual y formación de tablas.

Las cargas caloríficas para el calentamiento de agua han sido calculadas anteriormente y se resumen en la siguiente tabla:

Demanda energética de ACS						
Mes	D_{diaria} (l/día·pers)	Días	Personas	T_{ACS} (°C)	T_{red} (°C)	$D_{\text{energética}}$ (MJ/mes)
Enero	22	31	4	60	7,84	594,78
Febrero	22	28	4	60	8,84	526,92
Marzo	22	31	4	60	10,84	560,57
Abril	22	30	4	60	11,42	536,09
Mayo	22	31	4	60	14,42	519,75
Junio	22	30	4	60	16,42	480,91
Julio	22	31	4	60	19,42	462,74
Agosto	22	31	4	60	18,42	474,14
Septiembre	22	30	4	60	17,42	469,88
Octubre	22	31	4	60	13,84	526,36
Noviembre	22	30	4	60	9,84	553,53
Diciembre	22	31	4	60	7,84	594,78
TOTAL (MJ/año)						6300,46

Tabla 30.- Demanda energética mensual y anual de ACS para la vivienda

De la misma forma, el cálculo de la radiación solar incidente también se ha realizado anteriormente y viene resumido en la siguiente tabla:

Radiación solar inclinada en Tamarite de Litera	
Mes	H_{incl} [MJ/m ² ·día]
Enero	8,19
Febrero	14,03
Marzo	19,47
Abril	25,33
Mayo	29,61
Junio	33,85
Julio	34,12

Agosto	29,94
Septiembre	23,36
Octubre	15,90
Noviembre	10,13
Diciembre	6,84

Tabla 31.- Radiación solar inclinada

Una vez conocidos estos datos, se procede al cálculo de la variable D_1 , que puede realizarse a través de la siguiente ecuación:

$$D_1 = \frac{\text{Energía absorbida por el captador}}{D_{\text{energética ACS}}}$$

Antes de calcular el parámetro D_1 es necesario calcular la energía absorbida por el captador. La energía absorbida por el captador viene dada por la siguiente ecuación:

$$E_a = S_c \cdot F'_{r(\tau\alpha)} \cdot H_{incl} \cdot N$$

Dónde:

S_c , es el área del colector (A_c) (m^2).

H_{incl} , es la radiación diaria media mensual incidente sobre la superficie de captación por unidad de área ($MJ/m^2 \cdot \text{día}$).

N , es el número de días del mes.

$F'_{r(\tau\alpha)}$, es el factor adimensional, que viene dado por la siguiente expresión:

$$F'_{r(\tau\alpha)} = F_{r(\tau\alpha)_n} \cdot [(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n] \cdot (F'_r/F_r)$$

Dónde:

$F_{r(\tau\alpha)_n}$, es el factor de eficiencia óptica del captador, es decir, la ordenada en el origen de la curva característica del captador, en este caso, 0,81.

$(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$, Modificador del ángulo de incidencia. En general se puede tomar como constante: 0,96 (superficie transparente sencilla) o 0,94 (superficie transparente doble). En este caso, se utiliza 0,96.

F'_r/F_r , factor de corrección del conjunto captador-intercambiador. Se recomienda tomar el valor de 0,95.

Por lo tanto:

$$F'_{r(\tau\alpha)} = 0,735$$

Una vez calculado este factor, se puede calcular la energía absorbida y la variable D_1 :

Cálculo de la variable D_1					
Mes	H_{incl} (MJ/m ² ·día)	N	E_a (MJ)	$D_{energética ACS}$ (MJ)	D_1
Enero	8,19	31	450,05	594,78	0,76
Febrero	14,03	28	696,39	526,92	1,32
Marzo	19,47	31	1069,94	560,57	1,91
Abril	25,33	30	1347,50	536,09	2,51
Mayo	29,61	31	1627,32	519,75	3,13
Junio	33,85	30	1800,18	480,91	3,74
Julio	34,12	31	1875,12	462,74	4,05
Agosto	29,94	31	1645,54	474,14	3,47
Septiembre	23,36	30	1242,66	469,88	2,64
Octubre	15,90	31	874,03	526,36	1,66
Noviembre	10,13	30	538,66	553,53	0,97
Diciembre	6,84	31	375,89	594,78	0,63

Tabla 32.- Resumen del cálculo de la variable adimensional D_1

El parámetro D_2 expresa la relación entre las pérdidas de energía en el captador, para una determinada temperatura, y la carga calorífica de calentamiento durante un mes:

$$D_2 = \frac{\text{Energía perdida por el captador}}{D_{energética ACS}}$$

Antes de calcular el parámetro D_2 es necesario calcular la energía perdida por el captador. La energía perdida por el captador viene dada por la siguiente ecuación:

$$E_p = S_c \cdot F'_r \cdot U_L \cdot (100 - T_a) \cdot \Delta t \cdot K_1 \cdot K_2$$

Dónde:

S_c , es el área del colector (A_c) (m²).

$$F'_r \cdot U_L = F_r \cdot U_L \cdot (F'_r / F_r)$$

Dónde:

$F_r \cdot U_L$, es la pendiente de la curva característica del captador (coeficiente global de pérdidas del captador).

T_a , es la temperatura media mensual del ambiente durante las horas diurnas ($^{\circ}\text{C}$).

Δt , es el periodo de tiempo considerado (en este caso, 1 mes) (s).

K_1 , es el factor de corrección por almacenamiento, que se puede obtener con la siguiente ecuación:

$$K_1 = \left[\frac{\text{kg de acumulación}}{75 \cdot S_c} \right]^{-0,25}$$

$$37,5 < \frac{\text{kg de acumulación}}{\text{m}^2 \text{ de captación}} < 300^*$$

*: El pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura establece que el volumen del depósito de acumulación debe encontrarse entre los valores de 86,25 y 705 litros (para una superficie de $2,4 \text{ m}^2$). Por otra parte, el CTE en su DB-HE, indica que ese volumen debe encontrarse entre los 120 y los 432 litros (para una misma superficie). De esta forma, se tienen en cuenta los valores calculados a partir del CTE, ya que son los más restrictivos (se escoge un depósito de 150 litros, el recomendado por el fabricante del captador).

K_2 , es el factor de corrección, para ACS, que relaciona la temperatura mínima de ACS, la del agua de red y la media mensual ambiente, que se puede obtener con la siguiente ecuación:

$$K_2 = \frac{(11,6 + 1,18 \cdot T_{ACS} + 3,86 \cdot T_{red} - 2,32 \cdot T_a)}{100 - T_a}$$

Con las ecuaciones anteriores se pueden calcular las diversas variables y, por lo tanto, encontrar D_2 :

Cálculo de la variable D_2						
Mes	K_2	Δt (s)	T_a ($^{\circ}\text{C}$)	E_p (MJ)	$D_{\text{energética ACS}}$ (MJ)	D_2
Enero	1,06	2678400	5,5	2321,13	594,78	3,90
Febrero	1,07	2419200	7,6	2075,27	526,92	3,94
Marzo	1,11	2678400	10,8	2304,50	560,57	4,11
Abril	1,11	2592000	13,1	2160,52	536,09	4,03
Mayo	1,18	2678400	17,4	2269,80	519,75	4,37
Junio	1,22	2592000	21,9	2135,43	480,91	4,44

Julio	1,33	2678400	24,7	2324,73	462,74	5,02
Agosto	1,28	2678400	24,5	2245,83	474,14	4,74
Septiembre	1,28	2592000	20,7	2284,81	469,88	4,86
Octubre	1,18	2678400	15,6	2314,81	526,36	4,40
Noviembre	1,09	2592000	9,5	2211,18	553,53	3,99
Diciembre	1,05	2678400	5,9	2299,57	594,78	3,87

Tabla 33.- Resumen del cálculo de la variable adimensional D_2

Una vez calculadas las dos variables adimensionales, ya es posible resolver la ecuación de la fracción solar:

$$f = 1,029 \cdot D_1 - 0,065 \cdot D_2 - 0,245 \cdot D_1^2 - 0,0018 \cdot D_2^2 - 0,0215 \cdot D_1^3$$

Fracción de carga mensual			
Mes	D_1	D_2	f
Enero	0,76	3,90	0,42
Febrero	1,32	3,94	0,75
Marzo	1,91	4,11	0,98
Abril	2,51	4,03	1,15
Mayo	3,13	4,37	1,23
Junio	3,74	4,44	1,29
Julio	4,05	5,02	1,30
Agosto	3,47	4,74	1,25
Septiembre	2,64	4,86	1,13
Octubre	1,66	4,40	0,88
Noviembre	0,97	3,99	0,56
Diciembre	0,63	3,87	0,33

Tabla 34.- Fracción de carga calorífica mensual

Se puede observar como en los meses centrales del año, la instalación es capaz de cubrir el 100% de la demanda.

El CTE en su DB-HE establece que, la fracción solar, en ningún momento puede superar el 110%. Además, también indica que no se pueden enlazar tres meses consecutivos con más del 100% de la demanda cubierta. En esta instalación se incumplen ambas directrices, es por eso que, durante los meses de verano, se deberá realizar un tapado parcial del captador para disminuir el área de captación y, de esta forma, disminuir la fracción solar por debajo del 100%.

Una vez calculada la fracción de cada mes, se puede encontrar la energía útil para cada mes, con la ayuda de la siguiente ecuación:

$$Q_u = f \cdot Q_a$$

Dónde:

Q_a , es la carga calorífica mensual de ACS (demanda de ACS).

Calor útil mensual			
Mes	f	$D_{\text{energética ACS}} \text{ (MJ)}$	$Q_u \text{ (MJ)}$
Enero	0,42	594,78	250,64
Febrero	0,75	526,92	397,07
Marzo	0,98	560,57	551,71
Abril	1,15	536,09	615,04
Mayo	1,23	519,75	639,50
Junio	1,29	480,91	622,03
Julio	1,30	462,74	599,80
Agosto	1,25	474,14	593,38
Septiembre	1,13	469,88	531,88
Octubre	0,88	526,36	463,48
Noviembre	0,56	553,53	308,99
Diciembre	0,33	594,78	198,35

Tabla 35.- Calor útil mensual

Mediante igual proceso operativo que el desarrollado para un mes, se operará para todos los meses del año. La relación entre la suma de las coberturas mensuales y la suma de las cargas caloríficas, o necesidades mensuales de calor, determinará la cobertura anual del sistema:

$$\text{Cobertura solar anual} = \frac{\sum_1^{12} Q_u}{\sum_1^{12} Q_a}$$

$$\text{Cobertura solar anual} = 92\%$$

Este porcentaje de cobertura solar es el que se obtendría con los excesos de los meses de verano. Si se realiza el cálculo tomando como fracción solar máxima el 100% (para los meses de verano), se tiene que la cobertura solar anual es de:

$$\text{Cobertura solar anual} = 81,2\%$$

La instalación cumple con la normativa, que establecía que la cobertura solar mínima anual debía de ser del 40%.

Al no cubrir el 100% de la demanda, será necesario implementar en la instalación un sistema auxiliar, que será una caldera de gas natural. Este sistema apoyará al suministro de ACS y dará cobertura al sistema de calefacción por suelo radiante.

5.2.5. Cálculo del caudal de la instalación

El caudal de circulación viene definido por el fabricante del captador según un ensayo de la Norma UNE 94101:1986 por la cual se determina el caudal óptimo para obtener la máxima transferencia de calor posible.

Para el colector escogido, el T25-M de la compañía Termicol, el caudal óptimo recomendado por el fabricante es de 40 l/h·m².

De esta forma, conociendo el caudal unitario y la superficie del colector (2,4 m²), se pueden establecer los valores límite de caudal de la instalación de la siguiente forma:

$$Q = S_c \cdot Q_{u \min} = 96 \text{ l/h}$$

5.2.6. Selección de la bomba de circulación

En cuanto a la bomba de circulación, se utilizara una bomba de la misma casa que el captador (Termicol), ya que es la que se recomienda por el mismo. La bomba tiene como referencia el nombre BOMBAD-01, y está recomendada para instalaciones que cuenten con entre 1 y 6 captadores, como es este caso. Además, es una bomba que debe utilizarse en circuito primario (se recuerda que hay instalaciones en las que el ACS pasa directamente por el captador y no es necesaria la utilización de fluido caloportante).

5.2.7. Selección del vaso de expansión

El vaso de expansión de una instalación térmica será siempre cerrado, tiene la función de absorber las variaciones de volumen del fluido calor-portante, contenido en el circuito solar, al variar su temperatura, manteniendo la presión entre límites preestablecidos e impidiendo, al mismo tiempo, pérdidas y reposiciones de la masa de fluido.

Para desarrollar el cálculo, primero se debe tener en cuenta la capacidad de fluido de la instalación. La capacidad de fluido en el colector depende del modelo y características, pero para un colector plano de 2,5 m² (2,4 m² en este caso) se puede considerar entre 2 y 3 litros. En los intercambiadores, se pueden considerar un total de 15 litros si este se encuentra en el interior del depósito (como es el caso). En las tuberías, para determinar la cantidad de fluido que circula por ellas se debe realizar el siguiente cálculo, que depende del tamaño de las tuberías:

$$0,13 \frac{l}{m} \cdot l (m) = 0,13 \cdot 27 = 3,51 \text{ litros}$$

Posteriormente, se debe tener en cuenta el coeficiente de dilatación del agua, que en casos de energía solar térmica debe considerarse siempre de un 4,34%.

Una vez hecho esto, se aplica la siguiente ecuación para calcular el volumen útil (que se debe multiplicar por 1,2. Este 20% es el volumen que debe tener el vaso antes de su puesta en marcha):

$$V_u - V_i = C_e \rightarrow V_u = 31,02 l$$

Dónde:

V_u , es el volumen útil (l)

V_i , es el volumen de la instalación (l)

C_e , es el coeficiente de dilatación del agua

Una vez conocido esto, utilizando un sencillo programa de cálculo proporcionado por la empresa "Ibaiondo", se introducen los datos y se calcula el volumen que debe tener el vaso de expansión. El resultado es que el vaso de expansión debe tener un volumen de 25,08 litros.

ANEXO 3 – CÁLCULO DE LAS CARGAS DE CALEFACCIÓN MEDIANTE CYPE Y SELECCIÓN DE LA CALDERA

5.3. CÁLCULO DE LAS CARGAS DE CALEFACCIÓN Y SELECCIÓN DE LA CALDERA

5.3.1. Introducción al software CYPECAD MEP

El cálculo de las cargas de calefacción en la vivienda se ha realizado mediante el software de ingeniería CYPE, a través de su módulo CYPECAD MEP.

CYPECAD MEP es un programa para el diseño y dimensionamiento de la envolvente, la distribución, y las instalaciones del edificio sobre un modelo 3D integrado con los distintos elementos del edificio.

El software permite seleccionar el país en el que se encuentra el proyecto, adaptando entonces la normativa y el propio programa al país en cuestión. La versión de CYPECAD MEP en España permite realizar cálculos relacionados con:

- Estudios térmicos
- Estudios acústicos
- Certificaciones energéticas
- Protección contra incendios
- Salubridad
- Climatización
- Energía solar térmica
- Gas
- Pararrayos
- Iluminación
- Electricidad
- Telecomunicaciones

La complejidad del programa y el poco conocimiento que el autor del proyecto tenía sobre este ha propiciado que, en el presente proyecto, este software únicamente se haya utilizado para calcular las cargas de calefacción de la vivienda. El resto se ha realizado todo manualmente.

5.3.2. Cálculo de las cargas de calefacción

Este apartado del anexo pretende explicar, paso a paso, el proceso seguido con el programa para conseguir los resultados referentes a las cargas de calefacción de la vivienda y, por lo tanto, conocer la potencia requerida de calefacción.

Inicialmente, es necesario incluir un nombre y una descripción al proyecto. En todos los informes que posteriormente se realicen con CYPE va a salir esta información:

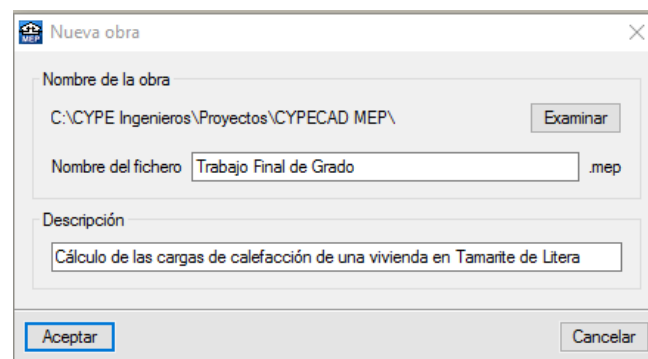


Fig. 20.- Primer paso al iniciar CYPECAD MEP. Fuente propia

Una vez completado esto, el programa muestra todos los países que disponen de este software y las instalaciones o comprobaciones que CYPECAD MEP dimensiona para cada uno de ellos.

Tras seleccionar el país deseado y pulsar el botón Aceptar, el programa ejecuta un asistente de introducción de datos, que, en uno de sus pasos, permite seleccionar el tipo de instalación (Ver Fig. 21).

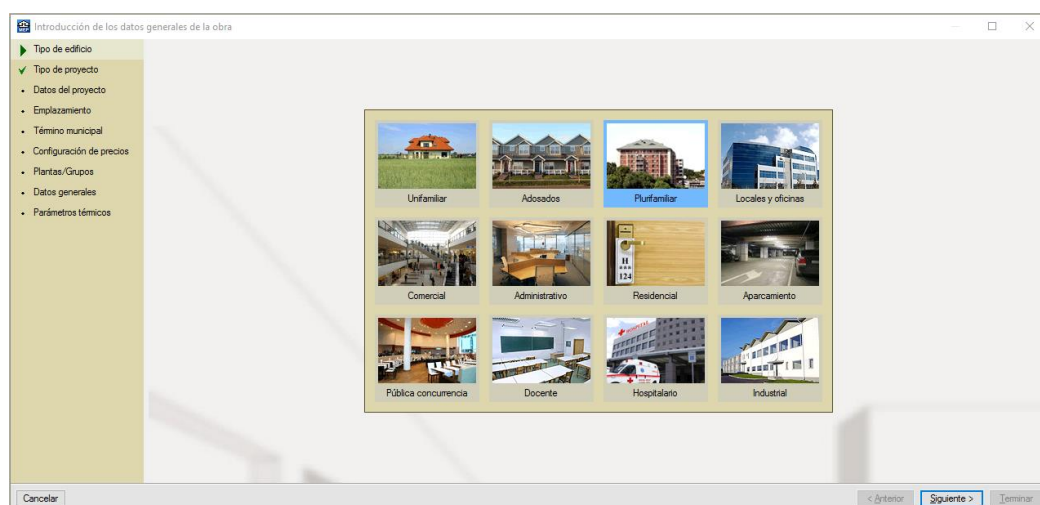


Fig. 21.- Introducción de los datos generales de la obra. Fuente propia

Se indicará que se trata de un proyecto en un edificio de viviendas plurifamiliar. Indicando esto, el programa ya descartará automáticamente la normativa que no tenga nada que ver con este tipo de viviendas, simplificando así el tiempo de cálculo. También se especificará que se trata de un proyecto de climatización y se introducirán los datos generales del proyecto, como el nombre del promotor, el emplazamiento, la superficie construida...

Posteriormente, en el momento de introducir los pisos, se introducirán 3 en el mismo grupo (ya que son exactamente iguales). De esta forma solo será necesario dibujar un piso.

Tras introducir los datos generales, el programa preguntará si se desean introducir plantillas de dibujo para cada planta. Inicialmente, es recomendable tener el plano de la vivienda en un archivo “.dwg”. Esto se puede conseguir con el programa AutoCAD. Aunque el proceso de pasar los planos de papel a ordenador es bastante costoso y no es estrictamente necesario, en el momento en el que se debe dibujar la vivienda en el programa ayuda a que el proceso se acelere.

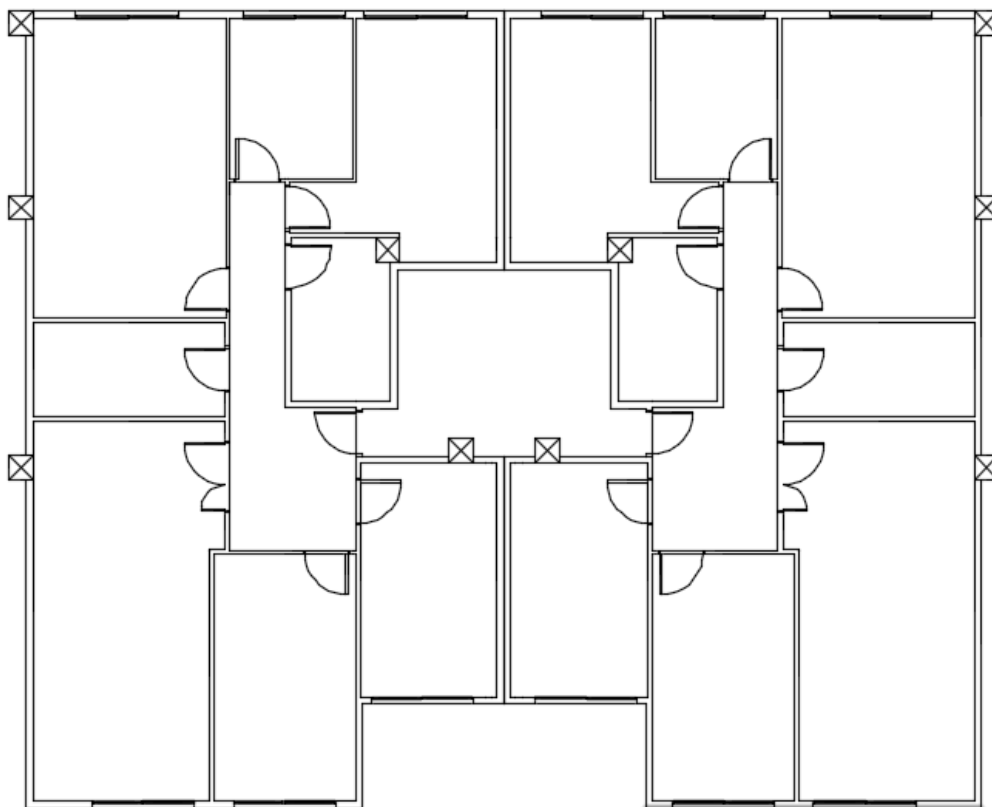


Fig. 22.- Plano en AutoCAD introducido en el programa CYPE. Fuente propia

Una vez introducidas las plantillas y asignadas a su respectiva planta, es el momento de comenzar a dibujar la estructura del edificio. Es necesario definir las paredes del edificio, tanto exteriores como interiores. Para ello, se puede escoger entre cerramientos (fachadas y medianeras) y tabiques. Una vez seleccionado el muro deseado, es posible definir los materiales que lo forman (uno por uno, indicando sus valores de espesor, conductividad térmica, densidad y calor específico. Si no se desea definir el muro, existe una opción a través del generador de precios que muestra muros ya definidos (también editables si se desea) (ver Fig. 22).

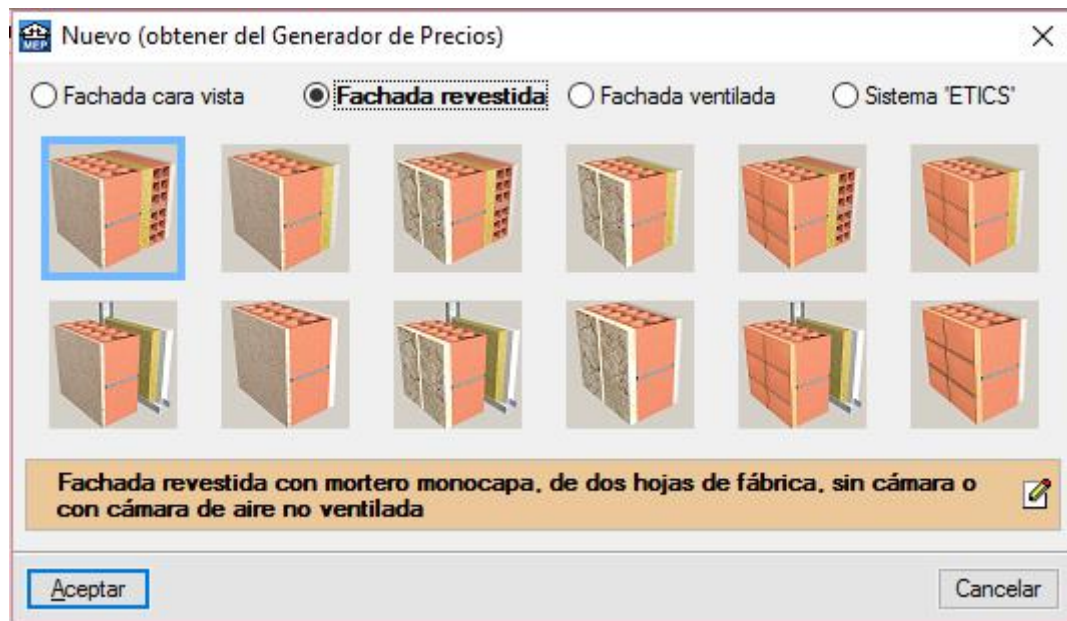


Fig. 23.- Selección de un muro de fachada ya definido a partir del generador de precio. Fuente propia

En el caso de la vivienda estudiada, los cerramientos exteriores son muy similares a uno de los cerramientos proporcionados por el programa. En este caso, es posible abrir uno de estos cerramientos ya definidos y modificar sus parámetros como se puede observar en la fig. 24 (en el caso de la vivienda se ha modificado el aislante).

Hoja principal ☒ Revestimiento intermedio ☐ Aislante térmico ☐ Cámara de aire ☐ Hoja interior

☒ **Hoja exterior de fachada, de fábrica de ladrillo cerámico cara vista.**
☐ Hoja exterior de fachada, de fábrica de bloque de hormigón cara vista.
☐ Hoja exterior de fachada, de fábrica de bloque de granito.
☐ Hoja exterior de fachada, de fábrica de ladrillo de hormigón cara vista.

☐ Con andamiaje

Hoja exterior **Elementos de anclaje** **Fábrica armada** **Frete de forjado** **Formación de dinteles**

Memas y roturas en función de la geometría de la fachada (%) 5.00

☒ **Ladrillo cerámico perforado**
☐ Ladrillo cerámico macizo
☐ Ladrillo sílico-calcáreo

Casa comercial

Ladrillo Mortero Junta

Color
☒ Rojo
☐ Blanco

Dimensiones (cm)
☒ 28x13,5x5
☐ 28x13,5x6

Fig. 24.- Edición del cerramiento vertical exterior. Fuente propia

Una vez definida la estructura de la vivienda con sus cerramientos verticales, es el momento de definir los cerramientos horizontales (suelos, separación entre pisos y cubierta). Para ello, se puede seguir la misma metodología que anteriormente con los cerramientos verticales. Existe la posibilidad de definir los elementos manualmente o de extraerlos ya definidos del generador de precios. Una vez seleccionado el cerramiento deseado, tanto si se trata de un cerramiento vertical como horizontal, se pueden consultar sus especificaciones (ver Fig. 25).

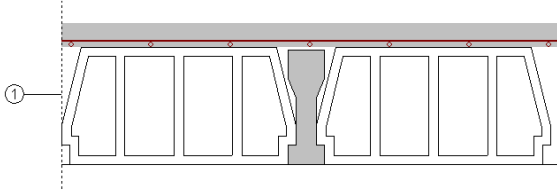
	Forjado unidireccional
	1 - Forjado unidireccional 25+5 cm (Bovedilla de hormigón); 30 cm
	Espesor total: 30.0 cm
	HE 1: Limitación de demanda energética (Superior)
	Uc refrigeración: 1.82 W/(m²·K)
	Uc calefacción: 2.44 W/(m²·K)
	HE 1: Limitación de demanda energética (Inferior)
	Uc refrigeración: 2.44 W/(m²·K)
	Uc calefacción: 1.82 W/(m²·K)
	HE 1: Limitación de demanda energética (Voladizo)
	Uc refrigeración: 2.86 W/(m²·K)
	Uc calefacción: 2.38 W/(m²·K)
	HR: Protección frente al ruido
	Masa superficial: 372.33 kg/m²
	Caracterización acústica, R _w (C; C _{tr}): 56.3(-1; -6) dB
	Nivel global de presión de ruido de impactos normalizado, L _{n,w} : 74.0 dB

Fig. 25.- Datos proporcionados por el programa de uno de los cerramientos (en este caso, un forjado entre pisos). Fuente propia

Para finalizar el diseño de la estructura del edificio, es necesario introducir las puertas y las ventanas de este. De la misma forma que anteriormente, es posible introducirlo manualmente o automáticamente.



Fig. 26.- Vista en 3D del edificio una vez definida su forma y sus cerramientos. Fuente propia

Una vez definida la vivienda, se deben definir los diversos recintos de los que esta consta. Para ello, existe la opción de “Asignar nuevo recinto” (ver Fig. 27). Esta opción permite seleccionar las diversas estancias de la vivienda y asignar un uso (salón, lavabo, cocina, dormitorio...). Además, permite definir otro tipo de datos como la composición del suelo (baldosas, gres, parquet...) o de las paredes.

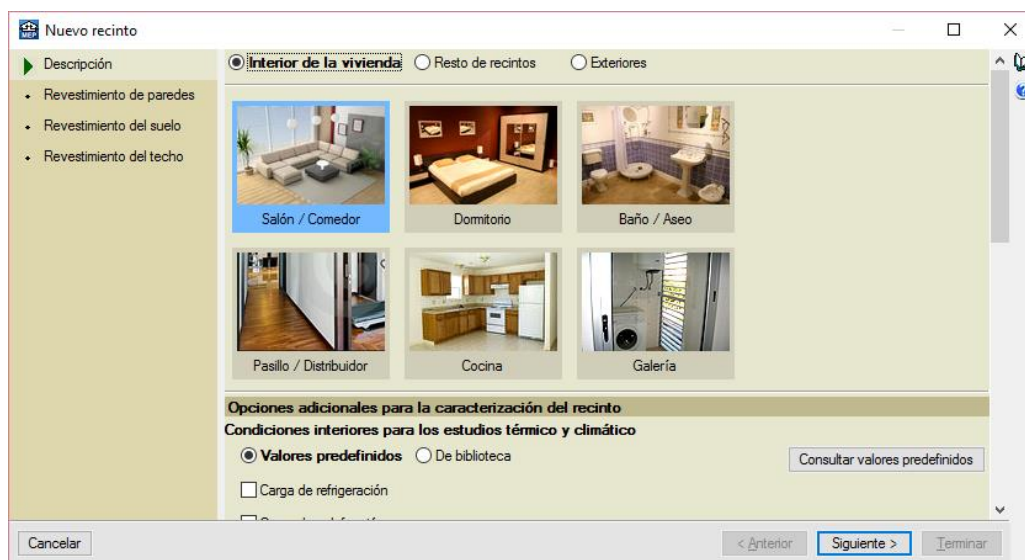


Fig. 27.- Pantalla que permitirá definir los recintos de la vivienda. Fuente propia

En el caso de la vivienda, se han definido un total de 10 recintos: Salón, sala de estar, cocina, 2 baños, 3 dormitorios, distribuidor y galería. En cada uno de estos recintos, además se ha especificado su acabado superficial. En el caso de los lavabos y la cocina, este acabado es en forma de baldosa, mientras que en el resto de recintos es en forma de pintura plástica. De la misma forma, también se debe definir cómo será el suelo. Este se ha definido en la totalidad de la vivienda con un solado de terrazo apto para la instalación de suelo radiante, como se puede ver en la fig. 28. Estos acabados, aunque en muy poca medida, también afectará al valor de transmitancia de los cerramientos

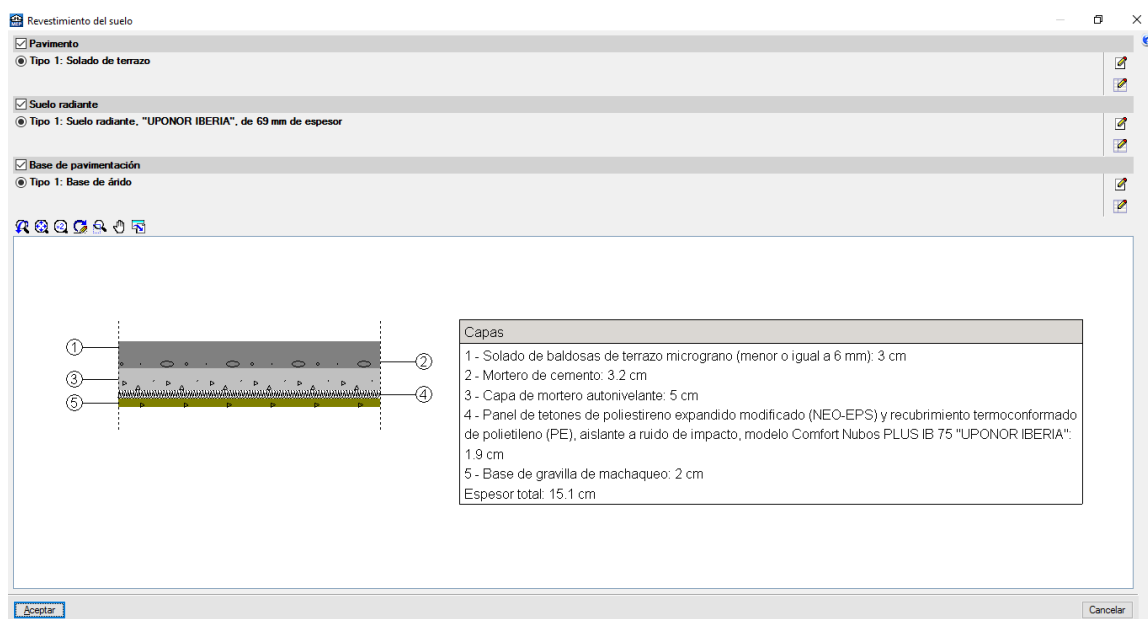


Fig. 28.- Edición del acabado del suelo de una habitación. Fuente propia

Una vez finalizado este último paso, el programa está listo para calcular todo lo relacionado con las cargas térmicas de calefacción.

Una vez realizados los cálculos, el programa generará diversos archivos que se podrán consultar en una barra lateral en la parte izquierda de la pantalla.

Conjunto: Vivienda A							
Recinto	Planta	Carga interna sensible (W)	Ventilación		Potencia		
			Caudal (m³/h)	Carga total (W)	Por superficie (W/m²)	Máxima simultánea (W)	Máxima (W)
Dormitorio 1	Planta 3	827.50	42.77	307.24	71.63	1134.75	1134.75
Dormitorio 2	Planta 3	352.92	36.00	258.60	111.36	611.52	611.52
Dormitorio 3	Planta 3	724.81	36.00	258.60	130.67	983.41	983.41
Cocina	Planta 3	740.40	63.40	227.72	109.94	968.12	968.12
Baño 1	Planta 3	203.64	54.00	193.95	78.27	397.59	397.59
Baño 2	Planta 3	253.28	54.00	193.95	95.39	447.23	447.23
Pasillo	Planta 3	283.79	25.20	90.50	40.11	374.29	374.29
Salón	Planta 3	930.01	64.80	465.48	73.25	1395.49	1395.49
Sala de estar	Planta 3	434.14	64.80	465.48	92.43	899.62	899.62
Total			441.0	Carga total simultánea		7212.0	

Fig. 29.- Extracto de los resultados para la vivienda estudiada. Fuente propia

5.3.3. Cálculo de la demanda energética

Para el cálculo de la demanda energética de la calefacción, se tendrá en cuenta que la caldera funcionará de forma estacional. Se estima un uso de 200 días al año con una media de 10 horas al día y un coeficiente de intermitencia del 85%.

De esta forma, se puede calcular la demanda de calefacción con la siguiente ecuación:

$$DE_{calef} = P \cdot \text{horas día} \cdot \text{días} \cdot \text{coef}$$

Dónde,

DE_{calef}, es la demanda de calefacción (kWh/año)

P, es la potencia necesaria de calefacción (kW)

horas día, son las horas al día que va a funcionar la calefacción (≈8 horas)

días, son los días al año que va a funcionar la calefacción (≈100 días)

coef, es el coeficiente de intermitencia (0,85)

Por lo tanto:

$$DE_{calef} = 7,212 \cdot 8 \cdot 100 \cdot 0,85 = 4904,16 \text{ kWh/año}$$

Se estima que, con el sistema de calefacción mediante suelo radiante, las necesidades energéticas disminuyen en un 30%, por lo que la demanda final de calefacción anual será de 3432,91 kWh/año.

5.3.4. Selección de la caldera

Para el sistema de calefacción se decide utilizar una caldera de gas natural. Además, esta caldera dará apoyo al sistema solar cuando este no pueda abastecer toda la demanda de ACS.

Se ha decidido utilizar la caldera que, hasta el momento, estaba funcionando en la casa, ya que es relativamente nueva (tiene 2 años) y, tras leer las especificaciones del fabricante, tiene la posibilidad de utilizarla para calefacción por suelo radiante. De esta forma se va a conseguir un ahorro de más de 1500 € en la instalación.

El modelo de caldera instalado en la vivienda es el Ecomax 24 MT, de la marca Tifell. Actualmente la caldera daba la energía necesaria tanto a ACS como a calefacción (mediante radiadores de convección) por lo que podrá cubrir sin ningún problema la demanda energética de calefacción.

El fabricante proporciona las siguientes especificaciones de la caldera:

Modelo	Ecomax 24MT
Potencia calorífica nominal (kW)	23,5
Temperatura regulable en calefacción (°C)	30-80 / 25-45*
Temperatura regulable en ACS (°C)	35 – 60
Anchura x Profundidad x Altura (mm)	410 x 307 x 642
Peso bruto (kg)	35
Voltaje – Frecuencia (V/Hz)	230 – 50

Tabla 36.- Especificaciones de la caldera instalada

*: Los valores comprendidos entre 30 y 80 °C hacen referencia a calefacción convencional mientras que los valores comprendidos entre 25 y 45 °C se refieren a calefacción mediante suelo radiante.

ANEXO 4 – DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE

5.4. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE

Para la instalación de calefacción se decide implementar el sistema de suelo radiante, ya que es el sistema más eficiente en cuanto a calentamiento de viviendas.

Este sistema de calefacción está constituido por unos serpentines de tubos de polietileno reticulado, instalados debajo del pavimento de las dependencias calefactadas, que parten y finalizan en unos colectores. El agua calentada por la caldera de gas natural circula a través de los serpentines calentando el suelo, y desde este, mediante radiación cede el calor al ambiente.

Los tubos de polietileno son el componente más importante de esta instalación. Están fabricados con polietileno de alta densidad y reticulados. El reticulado permite realizar una estructura de red tridimensional que hace que el tubo no tenga problemas en cuanto a temperatura (posible deteriorado por fusión). Por esto se debe tener en cuenta que el tubo, antes de la instalación, se encuentre en perfectas condiciones ya que un defecto del mismo podría acarrear problemas en su funcionamiento o en su vida útil. A continuación se indican varias de las características de este tipo de tubos (compañía “Wirsbo”):

Características físicas	
Densidad (kg/m ³)	951
Rugosidad (mm)	0,007
Características térmicas	
Temperatura máxima de servicio (°C)	95
Temperatura máxima puntual (°C)	110
Coeficiente de dilatación lineal (K ⁻¹)	1,5·10 ⁻⁴
Calor específico a 23°C (KJ/kg·K)	2,3
Conductividad térmica (W/m·K)	0,35 – 0,38
Características mecánicas	
Resistencia a la tracción (N/mm ²)	> 22
Alargamiento a la rotura (%)	>400
Módulo de elasticidad (20°C) (N/mm ²)	>800

Tabla 37.- Características de las tuberías para suelo radiante de la compañía “Wirsbo”

Las condiciones de servicio de este tipo de tuberías, para una aplicación en suelo radiante, son las siguientes.

Condiciones de servicio				
Temperatura (°C)	Coef. de seguridad	Presión máxima de servicio (bar)		
20	1,25	15,7	19,7	24,6
40	1,5	10,1	12,6	15,8
60	1,5	8,0	10,0	12,5
70	1,3	8,6	10,8	13,5
100	1	8,6	8,3	10,4

Tabla 38.- Condiciones de servicio de los tubos de la marca "PIPEX"

Una instalación de este tipo no está solamente formado por los tubos de polietileno. A parte de estos, estas instalaciones cuentan con:

- Plancha de aislamiento: se sitúan encima de un fino film de polietileno (utilizado para separar el hormigón si se la habitación se encuentra en un sótano, sobre terreno natural o a la intemperie). Está especialmente diseñada para acoger las tuberías. Consta de unos tetones en los que se inserta la tubería con facilidad. Los tetones de la plancha de aislamiento permiten la instalación con 10, 15, 20 y 30 cm de separación entre tubos. El diseño de las planchas facilita el acoplamiento machihembrado entre ellas.
- Banda perimetral de aislamiento: esta banda es la encargada de evitar las pérdidas de calor a través de los puentes térmicos y de absorber las dilataciones del hormigón. Se sitúan entre la plancha de aislamiento y el tabique.
- Grapas: se insertarán en los tetones de la plancha de aislamiento para sujetar las tuberías.
- Colectores de alimentación y retorno: Son los encargados de distribuir el agua caliente por las estancias de la vivienda y de recoger el agua una vez ha recorrido el circuito. Los colectores deben tener tantas entradas y salidas como

dependencias tenga la vivienda. Deben tener juntas de estanqueidad y adaptadores para conectar las tuberías. Los colectores de alimentación llevan una válvula y un mando de accionamiento manual para cada circuito de tuberías. El mando de la válvula puede ser reemplazado por un actuador, que puede ser accionado a distancia automáticamente mediante un termostato ambiente.

Los colectores se suelen empotrar en una pared, más o menos en una zona central de la vivienda de modo que se reduzca la cantidad de tubería necesaria.

El proceso a seguir para el montaje de la instalación es el siguiente:

- 1) Preparación de la obra: Antes de realizar la instalación de un suelo radiante hay que asegurarse de que:
 - a. El forjado esté perfectamente nivelado y lo más limpio y liso posible, sin pegotes de mortero, yeso, cemento ni restos de otros materiales.
 - b. La tabiquería, conducciones de agua y electricidad estén totalmente acabadas.
 - c. Se recomienda que los tabiques estén enyesados.
- 2) Colocación del colector: la instalación comienza por la colocación del equipo de distribución. Se debe colocar a una altura que permita que los tubos puedan curvarse y unirse al distribuidor sin ningún problema. La ubicación del equipo estará definida en el plano del proyecto. Los lugares más habituales son: armarios empotrados, interior de los armarios de la cocina, sala de calderas, etc.
- 3) Colocación de la banda perimetral: La banda perimetral se debe colocar en todo el perímetro de las paredes y otros componentes del edificio que penetran en la casa como marcos de puertas, pilares y columnas ascendentes. Debe extenderse desde el forjado soporte hasta la superficie del forjado acabado. No debe cortarse la parte de la banda perimetral que sobresalga del forjado hasta que no se coloque el solado final.
- 4) Colocación del panel aislante: En primer lugar se colocará una fila de placas cubriendo longitudinalmente toda la habitación, en caso de que la última placa no quepa, se cortará para poder ajustarla. El pico restante de ese corte, se

ensamblará al comienzo de la segunda fila y así sucesivamente. De este modo se optimizará la placa necesaria sin tener que generar desperdicios.

El panel aislante se debe colocar a lo largo de toda la superficie del forjado. Para evitar que filtre el mortero, hay que realizar una unión entre paneles, normalmente son un sistema de machihembrado. El suelo tiene que quedar bien sellado para evitar puentes térmicos.

- 5) Colocación del tubo: La unión de los extremos del tubo al equipo de distribución se realiza mediante los accesorios de unión. Se debe asegurar que no hay holgura entre accesorio y tubo. Para ello es suficiente con introducir el accesorio en el tubo y ver si entra fácilmente o no. En primer lugar hay que introducir la tuerca en el tubo, a continuación la anilla y finalmente, el accesorio. Este tiene que entrar recto en el colector para evitar cualquier problema de pellizcamiento de juntas. Una vez unido uno de los extremos del tubo al colector, se realiza el circuito, que no deberá superar los 120 metros y se une el otro extremo al colector de retorno.

Los tubos deben colocarse a más de 50 mm de distancia de las estructuras verticales y a 200 mm de los conductos de humo, de los cañones de chimenea con pared o sin ella y de los huecos de ascensores.

- 6) Juntas de dilatación: La superficie entre juntas de dilatación no debe superar los 40 m², con una longitud máxima de 8m. Se deberán colocar en los pasos de puertas, siempre que la longitud del recinto sea superior a 3 veces su anchura. En caso de utilizar mortero autonivelante, es necesario seguir las indicaciones del fabricante. Los tubos que atraviesan las juntas de dilatación hay que protegerlos.
- 7) Llenado de la instalación y prueba de presión: El llenado de la instalación debe realizarse lentamente, circuito por circuito, para reducir al máximo la entrada de aire. Se cierran todos los circuitos excepto, el que se quiere llenar. Se abren los grifos de la impulsión y el retorno, para que el aire del circuito pueda salir y se comienza con el llenado por el grifo del colector de impulsión. El circuito estará lleno, cuando, desde el grifo del colector de retorno, salga un chorro continuo de agua. Una vez terminado con el primer circuito, se cierra éste y continúa con

el resto de circuitos hasta terminar de llenar la instalación completamente. Los purgadores deben servir también para evacuar el aire que pueda quedar en la instalación.

- 8) Vertido del mortero: Durante la producción del mortero deben utilizarse solamente aditivos que no aumenten más del 5% el aire dentro del mortero. Cuando se coloca el mortero, la temperatura del mismo y la temperatura del suelo de la habitación no debe caer por debajo de 5 °C. A continuación, se debe mantener la temperatura de 5 °C como mínimo durante tres días.

El vertido debe realizarse comenzando por la habitación que está en un extremo, siguiendo un orden y dejando para el final los pasillos. Dentro de cada estancia el vertido se realiza empezando desde la mitad y esparciendo el mortero con cuidado, de forma que el film de la banda perimetral se quede por debajo del mortero.

- 9) Colocación del solado: La colocación del solado se realizará transcurridos 28 días del vertido del hormigón, respetando las características de cada tipo de revestimiento.
- 10) Equilibrado de la instalación: Una vez realizado el calentamiento inicial, es necesario proceder al equilibrado de la instalación, para que el calentamiento de cada estancia sea uniforme. Para ello se utilizarán los reguladores de caudal o detentores de los equipos de distribución.
- 11) Colocación de la regulación: Antes de colocar los elementos de regulación es necesario identificar todos los componentes de los que se dispone y realizar un esquema con todos ellos.

La instalación constará de dos partes, que se describen en el siguiente apartado.

5.4.1. Partes de la regulación

5.4.1.1. Circuito de mezcla

El circuito de mezcla puede ser de tres tipos:

- a) Regulación a temperatura fija
- b) Regulación a temperatura variable para calefacción

c) Regulación a temperatura variable para calefacción – refrescamiento

En el caso de esta instalación se va a utilizar un circuito de mezcla con regulación a temperatura fija. Esto significa que el agua de impulsión siempre tendrá la misma temperatura (aquella que se ha definido a la hora de realizar la instalación).

Para realizar este tipo de instalación se necesitan 3 elementos:

- a) Una válvula mezcladora termostática: una válvula de este tipo garantiza una buena gestión del agua caliente puesto que, de este modo, no se produce ninguna pérdida de agua o de energía al intentar ajustar la temperatura al nivel deseado y, además, se consigue reducir la pérdida de calor en las tuberías.

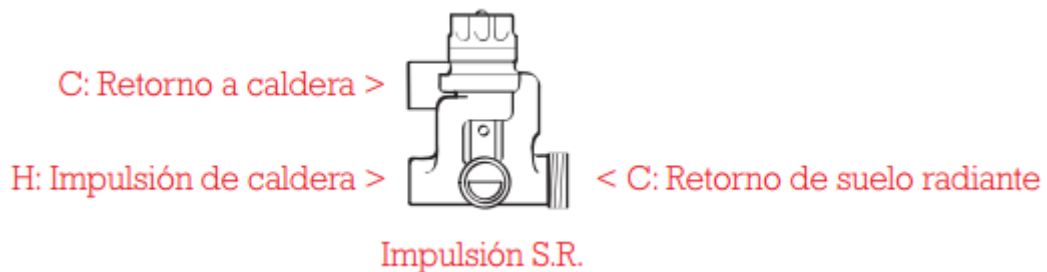


Fig. 30.- Esquema de una válvula mezcladora termostática. Fuente: [10]

- b) Una bomba: Es necesario elegir la bomba adecuada a cada instalación. Para ello se tendrá en cuenta la pérdida de carga máxima, el caudal de la instalación de suelo radiante y las pérdidas de carga de las tuberías de conexión hasta los colectores.
- c) Un termostato de contacto de seguridad: Detendrá la circulación del fluido a través de las tuberías en el caso de que la temperatura no sea la correcta.

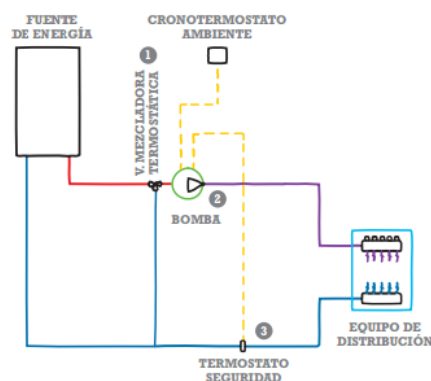


Fig. 31.- Esquema de la instalación con circuito de mezcla a temperatura fija. Fuente: [10]

5.4.1.2. Regulación de temperatura ambiente

Si se quiere independizar el ambiente de cada estancia se deben tener los siguientes elementos:

- a) Cabeza termoeléctrica: es un accionamiento todo o nada, normalmente cerrado. Cuando recibe la señal del termostato, abre el paso del circuito correspondiente a dicho accionamiento. El microinterruptor de señal de fin de carrera se comporta como un interruptor que se acciona cuando la válvula está bajo tensión, permitiendo de esta manera actuar a cualquier dispositivo que quiera comandarse con dicho microinterruptor (por ejemplo arrancar una bomba de circulación).
- b) Termostato: Sirve para seleccionar la temperatura a la que deseamos tener el ambiente de una dependencia. Se debe colocar en la habitación donde se va a controlar el ambiente a 1,5 m de altura. No se debe colocar en muros exteriores, cerca de un foco de calor, ventanas o puertas.

5.4.2. Circuitos de la instalación

La instalación contará con un total de 9 circuitos, uno para cada estancia de la vivienda. La longitud del circuito, entre ida y retorno, no puede superar los 120 metros.

Esta longitud viene dada por la siguiente fórmula:

$$L = \frac{A}{e} + 2 \cdot l$$

Dónde,

A, es el área de la superficie a calefactar (m²)

e, es la separación entre tuberías (m)

l, es la distancia del colector a la dependencia (m)

Longitud de los circuitos				
Dependencia	Área (m ²)	Distancia al colector (m)	Separación de los tubos (m)	Longitud del circuito (m)
Cocina	8,7	2,5	0,20	48,50
Salón	18,8	3,1	0,20	100,20
Sala de estar	9,6	0,9	0,20	49,80
Habitación 1	15,6	4,1	0,20	86,20

Habitación 2	5,4	5,5	0,20	38,00
Habitación 3	7,5	5,3	0,20	48,10
Lavabo 1	5,1	3,2	0,10	57,40
Lavabo 2	4,7	4,1	0,10	55,20
Recibidor y distribuidor	9,3	0,3	0,20	47,10
Caldera - Colector				25,20

Tabla 39.- Longitud en metros de los circuitos de la instalación

La separación entre tubos será en todas las estancias de la vivienda de 20 cm excepto en los lavabos (será de 10 cm), que al ser más pequeños necesitan una mayor concentración de tuberías para poder cubrir las necesidades térmicas.

De esta forma, la longitud de tubo total necesaria para la instalación será de 555,70 metros.

5.4.3. Cálculo del caudal de la instalación

Para el cálculo del caudal de la instalación, se debe calcular con anterioridad el caudal de los diversos circuitos que tiene la instalación. Para el cálculo de los caudales de los diversos circuitos se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{DE_{calefacción}}{C_{p,agua} \cdot \rho \cdot \Delta T}$$

Dónde,

DE_{calefacción}, es la carga de calefacción de la dependencia (kcal/h) (1 kcal/h = 1,163 W)

C_{p, agua}, es el calor específico del agua (1 kcal/kg·°C)

P, es la densidad del agua (1 kg/l)

ΔT, es el salto de temperatura entre la impulsión y el retorno (se consideran 10°C)

Caudales de los circuitos			
Dependencia	Potencia térmica (W)	Potencia térmica (kcal/h)	Caudal (l/h)
Cocina	1117,36	960,76	96,08
Salón	1465,24	1259,88	125,99
Sala de estar	960,76	826,10	82,61
Habitación 1	1153,5	991,83	99,18
Habitación 2	713	613,07	61,31
Habitación 3	938,11	806,63	80,66
Lavabo 1	372,36	320,17	32,02
Lavabo 2	431	370,59	37,06
Recibidor y distribuidor	356,56	306,59	30,66

TOTAL	7507,89	6455,62	645,56
-------	---------	---------	--------

Tabla 40.- Caudales de los diversos circuitos de la instalación

El caudal total de la instalación será de 645,56 l/h, que será el caudal que circulará entre la caldera de gas natural y los colectores.

5.4.4. Cálculo de las pérdidas de carga

Para dimensionar correctamente la instalación, se deben calcular las pérdidas de carga de los circuitos.

Inicialmente debe calcularse la pérdida de carga del circuito que va desde el colector hasta la caldera, hecho con tuberías de cobre. Para ello se utilizará el ábaco de la figura 32 (proporcionado por la compañía suministradora de los tubos de cobre), en el que se debe indicar el caudal y el diámetro de la tubería.

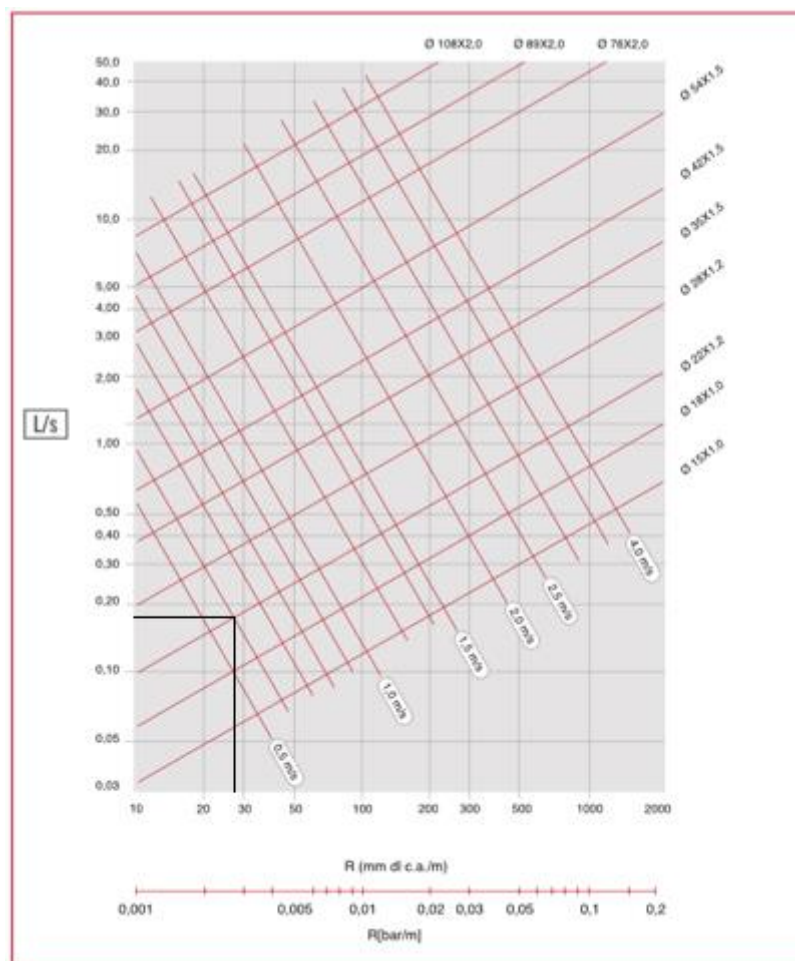


Fig. 32.- Pérdidas de carga para un tubo de cobre de 22 mm de diámetro. Fuente: [11]

De esta forma, las pérdidas en la tubería que va desde la caldera hasta el colector, las pérdidas de carga tienen un valor de 28 mmca/m. Se tienen un total de 25,20 metros de longitud en esa tubería. Se puede calcular la pérdida de carga total y se considera un 30% de incremento por los accesorios que se pueden encontrar por el camino:

$$H = 28 \cdot 25,20 \cdot 1,3 = 917,28 \text{ mmca} = 8,99 \text{ kPa}$$

Una vez calculada la pérdida de carga de la tubería principal, se deben calcular las pérdidas de carga del resto de tramos de la instalación. Para ello se procede de la misma forma que con las tuberías de cobre pero esta vez utilizando un ábaco para tuberías de polietileno (figura 33).

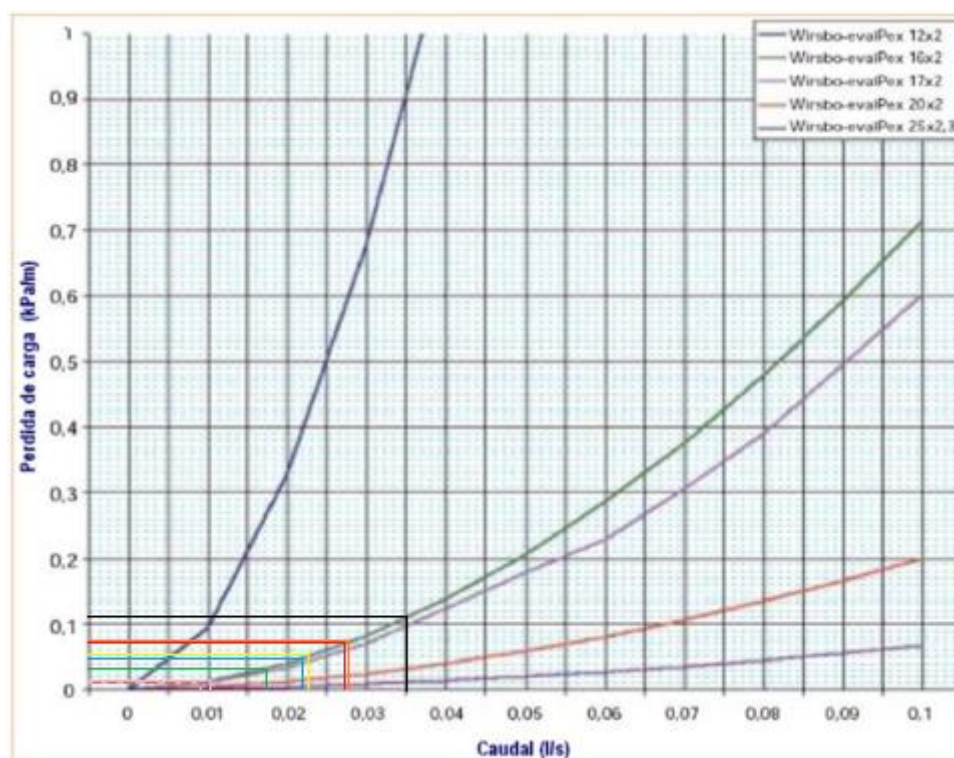


Fig. 33.- Ábaco para el cálculo de las pérdidas de carga de los circuitos para una tubería de 16 mm. Fuente: [12]

Pérdidas de carga de los circuitos			
Dependencia	Caudal (l/s)	Pérdidas de carga (kPa/m)	Pérdidas de carga (kPa)
Cocina	0,027	0,065	3,1525

Salón	0,035	0,11	11,022
Sala de estar	0,023	0,05	2,49
Habitación 1	0,028	0,07	6,034
Habitación 2	0,017	0,03	1,14
Habitación 3	0,022	0,04	1,924
Lavabo 1	0,009	0,01	0,574
Lavabo 2	0,010	0,015	0,828
Recibidor y distribuidor	0,009	0,01	0,471

Tabla 41.- Pérdidas de carga de los circuitos

De esta forma, si se suman todas las pérdidas, tanto del tramo entre la caldera y el colector como de los circuitos, se obtiene que las pérdidas de carga de la instalación son:

$$H_{Total} = 36,62 \text{ kPa}$$

Una vez conocidas las pérdidas de carga de la instalación, es posible seleccionar la bomba que se va a incorporar en ella.

5.4.5. Selección de la bomba

La gran pérdida de carga y la baja temperatura diferencial de un sistema de suelo radiante requiere una bomba más grande que un sistema tradicional de radiadores para un edificio del mismo tamaño. Conocidas las pérdidas de carga de la instalación, ya es posible realizar una selección de la bomba que se va a utilizar.

Se decide utilizar una bomba de la compañía “Wilo”, concretamente el modelo “Wilo-Stratos PICO”. Este modelo tiene dos tamaños, dependiendo de las necesidades de la instalación

Para seleccionar la bomba que se va a utilizar se debe utilizar el gráfico que proporciona la compañía.

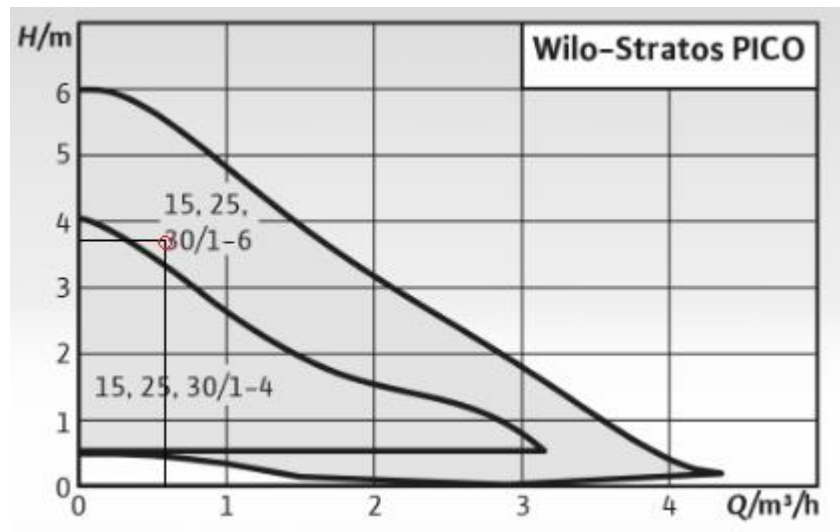


Fig. 34.- Selección de la bomba a través del gráfico de la compañía

Se observa que la bomba que se puede utilizar es, de ese mismo modelo, la de 15/1-6, la de 25/1-6 y la de 30/1-6.



Fig. 35.- Imagen de la bomba seleccionada

La bomba dispone de un pequeño display en el que, si es el caso, indica posibles errores de funcionamiento. Además, ella misma efectuará automáticamente un análisis del sistema de calefacción, encontrará el punto de ajuste óptimo y regulará su funcionamiento para adaptarlo a los cambios en la demanda.

A continuación se muestran los datos técnicos de la bomba:

Datos técnicos	
Temperatura del líquido (°C)	2 – 110
Presión de funcionamiento (bar)	Máx. 10 bar

Potencia (W)	5 – 45
Velocidad	Variable y fija
Aplicaciones	Calefacción y ACS

Tabla 42.- Datos técnicos de la bomba "Wilo-Stratos PICO"

La bomba se situara a la salida de la caldera impulsando el agua caliente por las tuberías hacia los colectores.

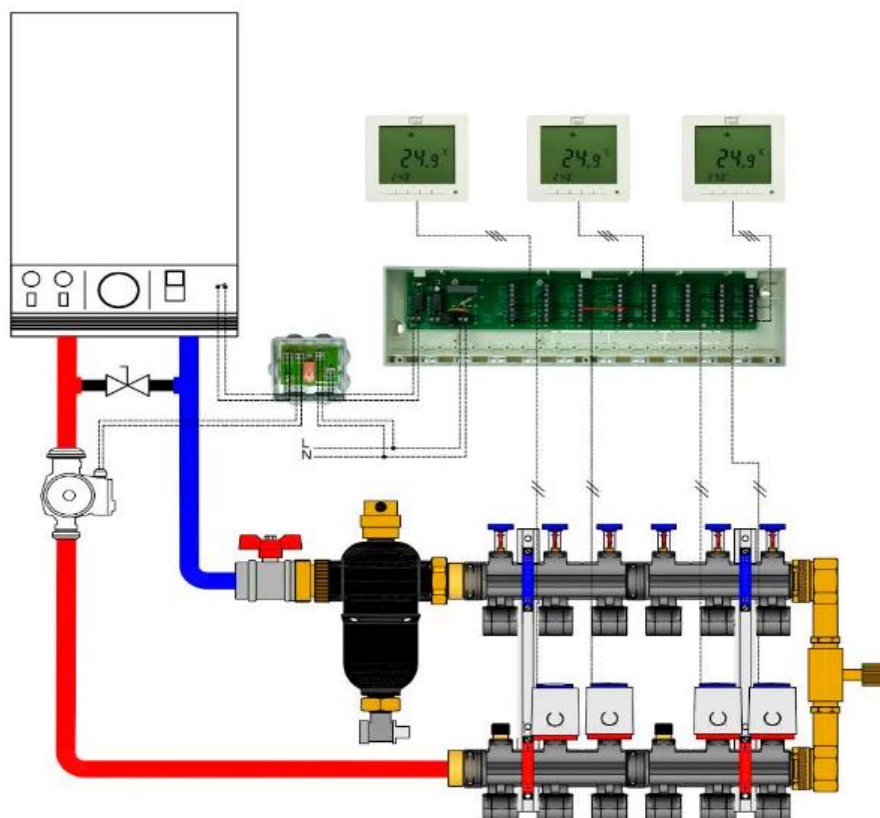


Fig. 36.- Esquema de la instalación, con la bomba a la salida de la caldera y con un sistema de control.